

# **Estratégia para uma Gestão Eficiente da Água e Resíduos na Indústria**

## **Estudo de uma Indústria Metalomecânica**

**Diogo Filipe Reis Ferreira**

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia de Ambiente**

Orientador: Professora Rita do Amaral Fragoso

Coorientador externo: Mestra Vera Lúcia da Conceição Dinis

### **Júri:**

Presidente: Doutora Elizabeth Fernandes Duarte, Professora catedrática, Instituto Superior de Agronomia.

Vogais: Doutor Olívio Patrício, Professor auxiliar, Instituto Superior de Agronomia.

Professora Rita do Amaral Fragoso, Professora auxiliar convidada, Instituto Superior de Agronomia.

## **Agradecimentos**

A dissertação de mestrado surge como sendo o grande “teste” à organização e responsabilidade do estudante, isto porque até então estava habituado à imposição de prazos por parte dos seus professores. É nesta fase que o aluno testa a sua disciplina e auto motivação. No entanto, nada seria possível sem o contributo de várias pessoas ao longo deste processo.

Começo por agradecer à empresa que me abriu as portas e permitiu utilizar os dados necessários para que pudesse efetuar este trabalho.

Um agradecimento à coorientadora externa, Mestra Vera Dinis, que desde o início aceitou ajudar-me em tudo o que precisasse da indústria, permitindo avançar com o estudo, e por todo o tempo despendido aquando das minhas visitas à unidade industrial.

Ainda dentro da empresa, agradeço também ao Engenheiro Fábio Carvalho, também pela ajuda dada e ao Engenheiro Marcelo Louro, que na ausência dos outros colegas, permitiu que eu tivesse acesso aos dados.

Um agradecimento especial à orientadora Professora Rita Fragoso por ter aceite este desafio e pela dedicação e disponibilidade demonstradas. Agradeço todo o tempo despendido nas reuniões e todas sugestões/soluções apresentadas.

Não diretamente relacionado com a dissertação, mas porque para aqui chegar muito se teve de passar, agradeço ao Jonas Schmedtmann, Sara Oliveira e (Ana) Sara, não desfazendo todos os outros colegas, mas foi com estes que nestes dois últimos anos passámos pelos grandes desafios do curso. Obrigado pela paciência!

Por fim, mas não menos importante, agradeço à minha família por tudo o que me possibilitou ao longo deste tempo de estudante.

## **Resumo**

O aumento da população mundial e o desenvolvimento industrial, levou a que a pressão sobre os recursos naturais fosse aumentando. Para controlar esta situação, foi necessário promover a implementação de medidas de uso eficiente dos recursos.

Todos sabemos da importância que a água tem no nosso dia-a-dia, e a preocupação com a gestão deste recurso tem vindo a aumentar. A nível industrial, a legislação relativa à descarga de águas residuais tornou-se mais exigente, com o objetivo de melhorar a qualidade dos meios recetores. Neste contexto, muitas indústrias optaram por instalar estações de tratamento de água residual e passaram a reutilizar a água residual tratada.

Para além da preocupação com a escassez de água, a pressão sobre todos os outros recursos utilizados na produção dos produtos que utilizamos diariamente também aumentou. Reutilizar e/ou reciclar um produto, não só reduz as emissões de GEE inerentes à produção de um novo produto, como evita as emissões de GEE associadas À deposição em aterro sanitário.

Nesta dissertação foi feita uma análise ao desempenho ambiental de uma unidade industrial do setor metalomecânico, propondo melhorias, de curto prazo e médio/longo prazo, ao nível do processo produtivo, da gestão de água/água residual e dos resíduos.

**Palavras-chave:** água, escassez, resíduos, gestão, reutilização, eficiência.

## **Abstract**

The growing world population and industrial development has led to an increased pressure on natural resources. To control this situation, it was necessary to promote measures towards a more efficient use of resources.

We all know the importance that water has in life, and therefore the concern with the management of this resource has increased. Legislative framework regarding industrial wastewater discharge became more stringent, with the goal of improving quality of water bodies. For this reason, many industries chose to build wastewater treatments plants reusing the treated wastewater.

Besides the concern about water scarcity, pressure on all other resources used in the production of goods we use daily also increased. To reuse and/or recycle a product, not only avoids GHG emissions related to the production of a new product, but also avoids GHG emissions associated with waste landfill.

In this work the environmental performance of a metallomechanics industrial plant was assessed, proposing improvements, short-term and medium/long term, to the production process, to the water/wastewater management and to the waste management.

**Keywords:** Water, scarcity, waste, management, reuse, efficiency.

## **Extended Abstract**

Despite the existence in large quantity on earth (71% of earth surface is covered by water), only a small part of the water is available for our needs. People need water to drink, to cook and hygiene, but in some countries, there is water scarcity.

Nowadays we have about 6 billion of people in the world, but it is expected that in 2050 this number achieves 9 billion. The growing of world population and industrial development has led to an increased pressure on natural resources. To control this situation, it was necessary to promote measures towards a more efficient use of resources.

We all know the importance that water has in life, and therefore the concern with the management of this resource has increased. Legislative framework regarding industrial wastewater discharge became more stringent, with the goal of improving quality of water bodies. For this reason, many industries chose to build wastewater treatments plants reusing the treated wastewater.

Apart from the problems associated with water management, there is still the problem with the increase of solid wastes production, due to the need for greater production of goods that meet all the needs of the population.

The landfills were, for years, the places where all kinds of waste was sent. Many of this landfills had poor waterproofing, allowing leaching/runoff of hazardous substances into water bodies. In addition, landfills also contributed to GHG emissions, particularly methane, due to anaerobic degradation of the organic matter.

Nowadays, the fact that people are motivated towards the reuse and recycling of products not only avoids GHG emissions related to the production of a new product, but also avoids GHG emissions associated with waste landfill.

Regarding industries, the first step for an efficient waste management starts on prevention of the production thereof. Next, the reuse and recycling should be promoted, while waste disposal is the option to be avoided.

In this work the environmental performance of a metallomechanics industrial plant was assessed, proposing improvements, short-term and medium/long term, to the production process, to the water/wastewater management and to the waste management.

**Keywords:** Water, scarcity, waste, management, reuse, efficiency.

# Índice

Agradecimentos .....	I
Resumo .....	II
Abstract .....	III
Extended Abstract .....	IV
Lista de Tabelas .....	VI
Lista de Figuras .....	VII
Lista de Abreviaturas.....	VIII
1. Introdução .....	1
1.1 Objetivos.....	1
1.2 Enquadramento do Tema .....	1
1.3 Organização da Dissertação .....	2
2. Revisão Bibliográfica.....	3
2.1 Gestão de recursos hídricos.....	3
2.1.1 A água no planeta Terra .....	3
2.1.2 O mundo e a escassez de água .....	5
2.1.3 Consumo de água no Mundo .....	5
2.2 Gestão de resíduos industriais .....	7
2.2.1 Panorama geral acerca da gestão dos resíduos industriais .....	7
2.2.2 Política nacional de gestão de resíduos industriais .....	8
3. Metodologia.....	9
4. Caso de Estudo.....	10
4.1 Caracterização da unidade industrial.....	10
4.2 Aspetos e impactes ambientais .....	11
4.3 Fluidos de corte .....	12
4.4 Situação de referência.....	20
4.4.1 Origem e tratamento da água.....	20
4.4.2 Descrição do processo produtivo.....	21
4.4.3 Produção e consumos na unidade industrial .....	27
4.4.4 Origem, tratamento e destino das águas residuais .....	30
4.4.5 Origem e destino dos resíduos sólidos industriais.....	33
4.5 Propostas de melhoria.....	37
4.5.1 Melhorias ao nível do processo produtivo .....	37
4.5.2 Melhorias ao nível da gestão de água/água residual.....	40
4.5.3 Melhorias ao nível da gestão de resíduos .....	41
5. Conclusões .....	42
Bibliografia.....	43

## **Lista de Tabelas**

**Tabela 4.1** - Características dos óleos de corte.

**Tabela 4.2** – Características dos fluidos à base de água.

**Tabela 4.3** – Principais parâmetros de controlo analítico dos óleos de corte.

**Tabela 4.4** – Principais parâmetros de controlo analítico dos fluidos de corte aquosos.

**Tabela 4.5** – Contaminantes habituais presentes nos fluidos de corte degradados.

**Tabela 4.6** - Origem, tratamento e utilização da água na unidade industrial.

**Tabela 4.7** - Análises da água do furo existente nas instalações.

**Tabela 4.8** – Produção anual de rolamentos e sucata, entre 2008 e 2010.

**Tabela 4.9** – Consumo, em m<sup>3</sup>, de água na unidade industrial.

**Tabela 4.10** - Variação do caudal na unidade industrial (2008-2010).

**Tabela 4.11** - Origem e tratamento das águas residuais.

**Tabela 4.12** – Análises efetuadas à água residual, após tratamento na unidade de UF.

**Tabela 4.13** - Resíduos sólidos industriais gerados, anualmente, na unidade industrial.

**Tabela 4.14** - Designação das operações de gestão de resíduos.

**Tabela 4.15** – Entidades responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos industriais.

**Tabela 4.16** – Precipitação média mensal entre 2005 e 2008 (SNIRH).

## **Lista de Figuras**

**Figura 2.1** - Distribuição global da água no planeta Terra (USGS, 2014).

**Figura 2.2** - Forma esquemática do ciclo hidrológico (USGS, 2014).

**Figura 2.3** – Comparação entre a percentagem de água disponível e a percentagem de população existente em cada continente (WWDR, 2003).

**Figura 2.4** - Uso de água no mundo e diferenciação desse uso entre países desenvolvidos e países subdesenvolvidos / em desenvolvimento (WBCSD, 2006).

**Figura 2.5** – Hierarquização das ações para a gestão de resíduos.

**Figura 4.1** – Consumo anual de água, m<sup>3</sup>, entre 2008 e 2010.

**Figura 4.2** – Principais etapas do processo produtivo.

**Figura 4.3** - Fluxo de material na zona de receção de matéria-prima.

**Figura 4.4** – Esquema ilustrativo do processo de Torneamento.

**Figura 4.5** - Esquema ilustrativo da Lavagem Geral.

**Figura 4.6** - Esquema ilustrativo do Controlo 100 % Dimensional.

**Figura 4.7** - Esquema ilustrativo do Tratamento Térmico.

**Figura 4.8** - Esquema ilustrativo da Retificação de Faces e de Diâmetro Exterior.

**Figura 4.9** - Esquema ilustrativo da Retificação dos Anéis.

**Figura 4.10** - Esquema ilustrativo do Superacabamento.

**Figura 4.11** - Esquema ilustrativo da Montagem.

**Figura 4.12** – Variação do consumo de aço, entre 2008 e 2010.

**Figura 4.13** – Rolamentos produzidos anualmente e sucata resultante dessa produção, entre 2008 e 2010.

**Figura 4.14** – Variações do volume de água consumido, caudal e horas de laboração, entre 2008 e 2010.

**Figura 4.15** – Esquema geral da origem e tratamentos aplicados à água residual.



## **Lista de Abreviaturas**

C. A. E.	Classificação de Atividade Económica
ETARI	Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais
Fe	Símbolo químico do Ferro
GHG	Greenhouse gases
GEE	Gases com Efeito de Estufa
ICA	Índice de Consumo de Água
LER	Lista Europeia de Resíduos
OI	Osmose Inversa
UF	Ultrafiltração
VLE	Valor Limite de Emissão

# **1. Introdução**

## **1.1 Objetivos**

O trabalho realizado na presente dissertação aborda, fundamentalmente, dois aspetos: o uso eficiente de água na indústria, e a gestão de resíduos industriais sólidos.

Relativamente à gestão de água e água residual, o trabalho desenvolvido visou contribuir para a diminuição do índice de consumo de água (ICA). Este índice é o quociente entre o consumo de água e a quantidade de produto acabado.

No que diz respeito aos resíduos industriais sólidos, o foco foi nos que são produzidos em maior quantidade ao longo do processo, e que potencialmente poderão ter um destino final que permita minimizar os custos com a sua gestão.

## **1.2 Enquadramento do Tema**

Gestão de água e gestão de resíduos, são conceitos que desde há umas décadas começaram a ser utilizados muito frequentemente. No entanto, desde as primeiras civilizações que estes conceitos eram aplicados, ainda que de forma inconsciente e despreocupada. Um exemplo desta gestão inconsciente é o armazenamento da água da chuva para utilizar em períodos de seca e o aproveitamento do estrume animal para fertilização dos solos.

Relativamente aos recursos hídricos, a crescente procura deste bem essencial à vida humana, aliado ao crescimento da população mundial, veio fazer com que as preocupações com a escassez da água fossem cada vez maiores. Por esta razão, criou-se em todo o mundo um “movimento” com medidas que oferecem às pessoas ferramentas para um uso eficiente da água, evitando assim, ao máximo, o desperdício de água.

Para além das alterações de práticas de consumo, o avanço tecnológico permitiu avançar bastante no que diz respeito ao tratamento de água residual com o objetivo desta ser reutilizada, ou simplesmente ser introduzida em meio recetor natural sem quaisquer problemas de poluição ambiental. Este avanço tecnológico na perspetiva das indústrias que investiram nas tecnologias existentes e o introduziram em próprio benefício, em muitos casos, permitiu-lhes um grande retorno financeiro, uma vez que a despesa inerente à compra de água passou a ser muito inferior, compensando rapidamente o investimento efetuado na aquisição destas tecnologias.

No que diz respeito à gestão de resíduos sólidos, era prática comum juntar todo o tipo de resíduos e depositá-los em aterros, apresentando elevados riscos para a saúde humana, devido às doenças que se podem proliferar a partir desses locais, e também para o meio ambiente, nomeadamente para as águas subterrâneas, uma vez que muitos destes aterros não estão convenientemente impermeabilizados e permitem a lixiviação de compostos perigosos para estas águas.

Mais uma vez como causa do aumento da população mundial, começou a existir uma maior pressão sobre as matérias-primas para a produção de todo o tipo de produtos para a utilização humana, e naturalmente, a quantidade de resíduos foi também aumentando.

Por outro lado, os processos produtivos, desde a obtenção de matéria-prima até ao produto final, geram a emissão de dióxido de carbono que é um gás que contribui para o efeito de estufa. Deste modo, a crescente preocupação com as alterações climáticas levou a que se tentasse diminuir os valores de emissões de GEE, sendo que uma das formas de o fazer passava por reutilizar materiais já processados. É a partir deste momento que os conceitos de reutilização e reciclagem de resíduos ganham relevo. Pode dizer-se que a preocupação da gestão de resíduos sólidos e a preocupação com as alterações climáticas estão diretamente relacionadas.

Deste modo, o presente trabalho pretende contribuir para que a unidade industrial em questão consiga melhorar o seu desempenho ambiental, identificando possíveis modificações ao nível do processo produtivo, alterações na gestão de água/águas residuais e resíduos sólidos industriais existentes.

### **1.3 Organização da Dissertação**

O presente trabalho está dividido em quatro partes principais: Revisão Bibliográfica, Metodologia, Caso de Estudo e Conclusões.

A Revisão bibliográfica (Capítulo 2) divide-se em dois subcapítulo (2.1 e 2.2). É feita uma abordagem geral sobre a disponibilidade de água no planeta Terra, a problemática associada à sua escassez e as diferenças de consumo a nível mundial e é abordada a problemática inerente aos resíduos industriais e política nacional de gestão de resíduos.

Na Metodologia (Capítulo 3) está explicado, de forma sucinta, as etapas de elaboração da dissertação.

O Caso de Estudo (Capítulo 4), é dividido em cinco subcapítulos (4.1 a 4.5). No subcapítulo 4.1, é feita a caracterização da unidade industrial. No subcapítulo 4.2 define-se aspeto e impacte ambiental. O subcapítulo 4.3 é reservado aos fluidos de corte. No subcapítulo 4.4, também ele subdividido em cinco subcapítulos (4.4.1, 4.4.2, 4.4.3, 4.4.4, 4.4.5) são descritas as origens da água e os tratamentos sofridos por esta, é descrito o processo produtivo, a produção anual e consumos de matéria-prima, a origem, os tratamentos efetuados às diferentes águas residuais, assim como o seu destino, e por fim, a origem e destino dos resíduos sólidos industriais.

No subcapítulo 4.5, este dividido em três subcapítulos (4.5.1, 4.5.2, 4.5.3), são efetuadas as propostas de melhoria a nível do processo produtivo, da gestão de água/água residual e da gestão de resíduos.

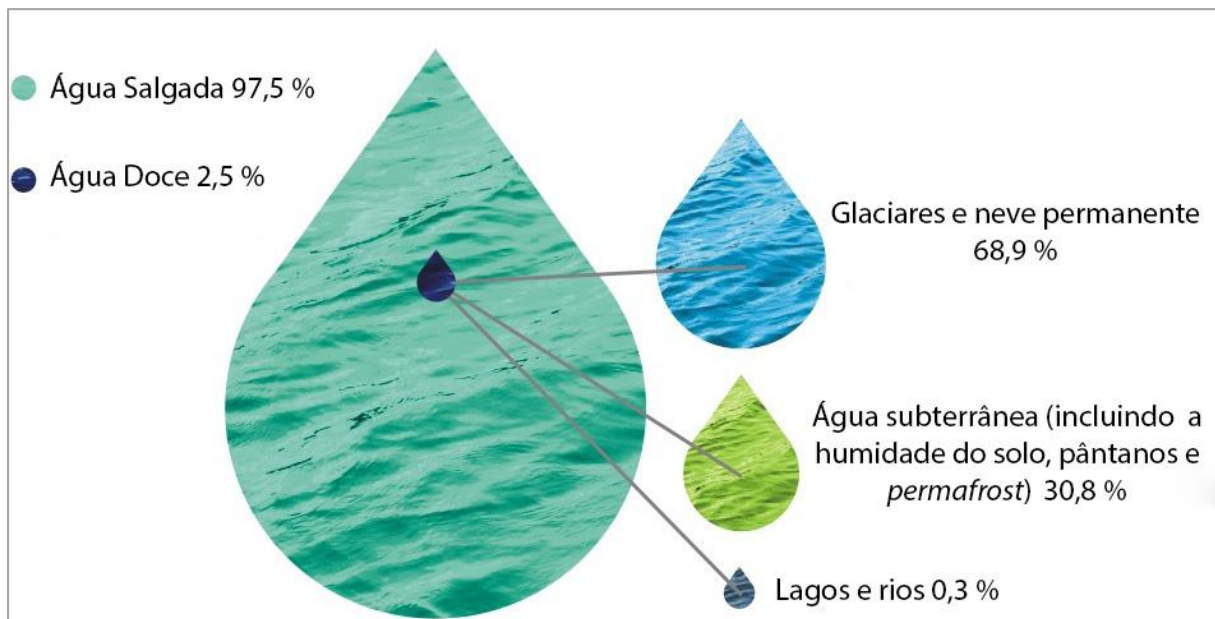
No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões a que se chegou com a dissertação.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1 Gestão de recursos hídricos

#### 2.1.1 A água no planeta Terra

A água exista em elevada quantidade na Terra sendo que cerca de 71% da superfície terrestre é coberta por água (USGS, 2014), apenas 2,5% é água doce, enquanto a restante é água salgada. No entanto, dois terços da água doce existente no planeta está retida nos glaciares e neve permanente (WWDR, 2003). Na **Figura 2.1** é apresentado o esquema de distribuição global de água no planeta Terra.



**Figura 2.1** - Distribuição global da água no planeta Terra (USGS, 2014).

As fontes de água têm a capacidade de se renovar (excetuando alguns aquíferos), ainda que com grandes diferenças de disponibilidade ao longo do globo e largas variações na precipitação anual e sazonal. Devido a esta variabilidade de disponibilidade de água, o Homem sentiu necessidade de construir reservatórios. Assim, estima-se que tenham sido construídos em todo o mundo reservatórios com capacidade suficiente para 8000 km<sup>3</sup> de água (WWDR, 2003).

Importa notar que os valores de volume de água apresentados para um determinado local do globo, são meramente indicativos de um determinado instante, uma vez que esse volume de água em cada um dos locais varia rapidamente ao longo do tempo (USGS, 2014). A variação de que falo deve-se à existência do que chamamos de “Ciclo da Água”. Na **Figura 2.2** está esquematizado este ciclo de forma a perceber o deslocamento natural da água no planeta, e os diferentes estados físicos (sólido, líquido e gasoso) que assume.

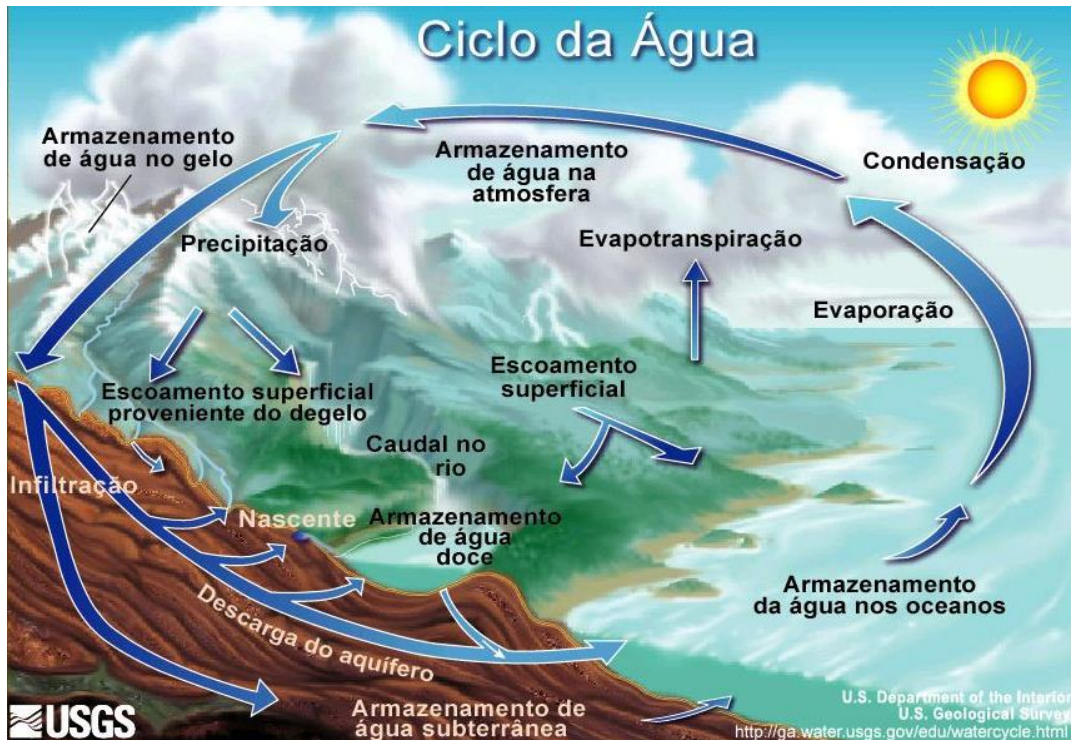


Figura 2.2 - Forma esquemática do ciclo hidrológico (USGS, 2014).

A água não está distribuída de forma equitativa pelo planeta. Apenas 10 países representam 60% da totalidade da água potável existente, sendo eles Brasil, Rússia, China, Canadá, Indonésia, Estados Unidos da América, Índia, Colômbia e República Democrática do Congo (WBCSD, 2006). Na **Figura 2.3** está demonstrada esta variação de disponibilidade de água e a percentagem de população existente em cada um dos continentes.

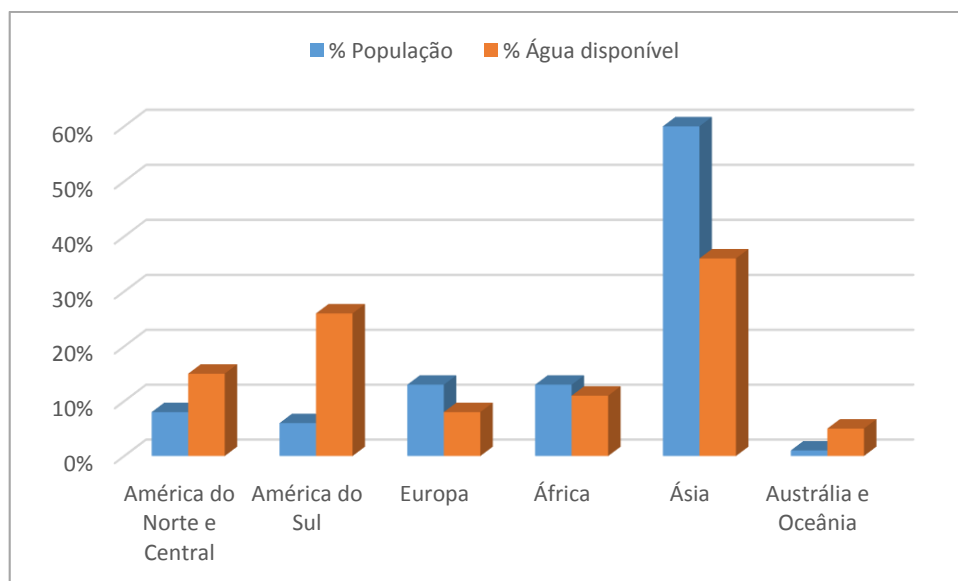


Figura 2.3 – Comparação entre a percentagem de água disponível e a percentagem de população existente em cada continente (WWDR, 2003)

### 2.1.2 O mundo e a escassez de água

Desde o início do século XXI, a Terra, com as suas abundantes e diversas formas de vida, incluindo os 6 mil milhões de humanos, está a enfrentar uma série crise de água, fazendo com muitas pessoas vivam em condições de escassez. O conceito de escassez de água é explicado por situações onde não existe água suficiente para todos os tipos de uso (agrícola, doméstico e industrial). Definindo o mesmo conceito *per capita*, assume-se que vivem em condições de escassez de água todas as pessoas, que anualmente, não têm acesso a, pelo menos, 1000 m<sup>3</sup> (WBCSD, 2006).

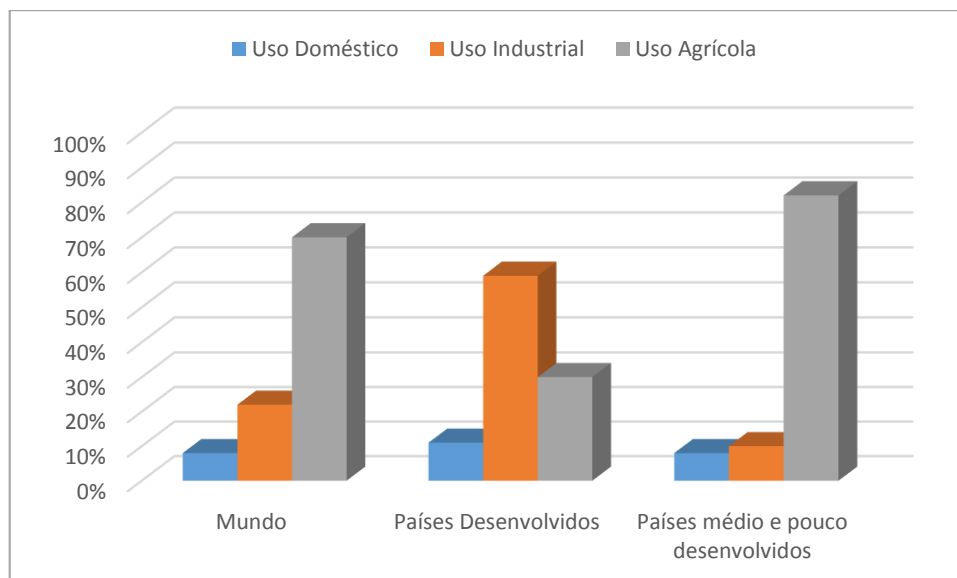
Esta crise é resultado do mau uso da água pelas pessoas, representando elevados custos para o ambiente, tais como a afetação de todos os cursos de água e a perda de biodiversidade. Nos últimos 100 anos, metade das terras húmidas do globo desapareceram, fazendo com que alguns rios não cheguem ao mar e 2% das 10000 espécies de peixes de água doce conhecidas estejam em vias de extinção ou extintas (WBCSD, 2006).

Em 2000, a população mundial era de 6,2 mil milhões. As Nações Unidas estima que em 2050 existam mais 3 mil milhões de pessoas no mundo, sendo que esta população adicional irá desenvolver-se em países onde já se vive em condições de escassez de água. Naturalmente, a procura da água irá aumentar, a não ser que toda a gente encontre formas de conservar e reciclar este recurso natural (WBCSD, 2006). Contudo, a população mundial não está completamente consciente da escala deste problema e, em grande parte dos casos, não está habilitada para lidar com o problema. Resolver esta crise, é um dos grandes desafios para a humanidade neste terceiro milénio (WWDR, 2003).

Nos dias de hoje, são gastos, anualmente e globalmente, 4000 km<sup>3</sup> (Revenga, C., 2000). Retiramos cerca de 8% do total de água doce que é renovada, aproveitamos 26% da evapotranspiração anual e 54% do escoamento superficial. O consumo *per capita* está a aumentar de ano para ano, não só devido ao aumento da população mas também devido ao aumento da qualidade de vida. Por estas razões, será cada vez mais grave a crise de água existente no Mundo (WWDR, 2003).

### 2.1.3 Consumo de água no Mundo

Pode dizer-se que o uso da água se divide em uso doméstico, industrial e agrícola. As diferenças de uso de água nos vários países tem a ver com o nível de desenvolvimento dos mesmos. Como é possível ver na **Figura 2.4**, nos países médio e pouco desenvolvidos o uso predominante é o agrícola, ao passo que nos países desenvolvidos é o uso industrial o predominante. A nível mundial há um claro domínio do uso agrícola.



**Figura 2.4** - Uso de água no mundo e diferenciação desse uso entre países desenvolvidos e países subdesenvolvidos / em desenvolvimento (WBCSD, 2006).

Ainda que a media da água utilizada na agricultura nos países desenvolvidos seja de 30%, em alguns deles a irrigação contribui em mais de 90% do uso total de água. Em Inglaterra, por exemplo, a água utilizada na agricultura representa menos de 1%, em Espanha e Portugal representa 70%. Esta variabilidade é explicada através da quantidade de água disponibilizada ao solo pela precipitação (WBCSD, 2006).

Relativamente ao uso industrial, são os países desenvolvidos que apresentam um maior consumo nesta área, no entanto, este consumo de água varia consoante o tipo de indústrias. O tipo de indústria que requer mais quantidade de água são as centrais termoelétricas, onde a água é utilizada como fluido de arrefecimento, seguindo-se a indústria do papel, onde estão a ser realizados grandes esforços no sentido de diminuir o consumo de água e as indústrias alimentares e farmacêuticas, onde a água é um ingrediente do produto final. Nos casos onde a água é incorporada no produto final cuja finalidade é o consumo humano, para além da quantidade de água necessária, esta tem de apresentar elevada qualidade (WBCSD, 2006).

Sabe-se que todas as pessoas necessitam de água para viver, quer seja para beber, cozinhar, higiene e saneamento. Ainda assim, há mais de mil milhões de pessoas sem acesso a água potável, maioritariamente na Ásia e África Subsariana, e 2,6 mil milhões sem condições de saneamento (WWDR, 2003).

## **2.2 Gestão de resíduos industriais**

### **2.2.1 Panorama geral acerca da gestão dos resíduos industriais**

Os resíduos industriais gerados em processos produtivos são uma forma de poluição que suscita uma crescente preocupação, tanto para as empresas como para toda a sociedade. Além dos diversos impactes ambientais implícitos, causadores de desequilíbrios graves nos ecossistemas e na saúde humana, existe também o custo económico associado à gestão/tratamento de resíduos industriais.

Existem razões que inadequadamente, ainda são utilizadas como justificação de situações de más práticas na gestão de resíduos industriais. Um exemplo disso é a afirmação sobre o desconhecimento da legislação aplicável nesta matéria, o desconhecimento de outras soluções técnicas mais eficientes e dos benefícios daí resultantes, e a mais preocupante, a desvalorização que é dada ao impacte ambiental da atividade industrial (AEP, 2011).

Uma nova ordem mundial, nas últimas décadas, tem estimulado o debate em torno das questões ambientais e suas consequências, isto porque estamos num mundo sem capacidade para absorver toda a carga poluidora existente. A procura pelas empresas de tecnologias que lhes tragam vantagem competitiva, tem aumentando ao longo do tempo. A procura de resultados finais, ecologicamente corretos, torna-se, com isso, uma restrição ou uma oportunidade, cabendo às empresas decidir (BenchMark A+E, 2011).

Torna-se por isso fundamental um esforço acrescido de informação, formação e sensibilização sobretudo aos industriais (incluindo as administrações e todas as partes envolvidas numa organização), que deverão encarar a gestão adequada dos seus resíduos, não somente como uma obrigação ambiental para com a sociedade, mas também, como uma estratégia de negócio, em que a aplicação de técnicas/tecnologias de prevenção, minimização, valorização e gestão apropriada dos resíduos produzidos, significa um melhor aproveitamento dos recursos materiais e energéticos, com benefícios financeiros quantificáveis e como um fator de “competitividade responsável” em mercados globais.

Tendo como enquadramento estruturante a Estratégia Temática para a Prevenção e Reciclagem de Resíduos (CE com/ 2005/666, 21 Dez), ao privilegiar-se a prevenção de resíduos e a ecoeficiência, relativamente ao tratamento e deposição final, devem concentrar-se os esforços sobre a origem/causa de um dado resíduo do processo produtivo e, subsequentemente, identificar as oportunidades que teremos ao nosso alcance para o evitar ou reduzir na fonte respetiva (INETI, 2007).

A prevenção da poluição implica, nomeadamente, a utilização criteriosa das matérias-primas, a eficiente utilização energética e a reutilização, sempre que tecnicamente possível dos fluxos gerados durante o processo, em alternativa ao seu tratamento final (INETI, 2000).

No longo prazo, as estratégias de prevenção são económica e ambientalmente mais efetivas do que as abordagens convencionais de controlo de poluição, contribuindo direta e indiretamente para reduzir a dispersão de poluentes tóxicos e a formação de GEE. Enquanto o controlo de poluição constitui sempre um custo, as estratégias de prevenção são oportunidades de inovação que, se bem



aproveitadas, são oportunidades de um investimento que resultará na melhoria da produtividade e competitividade das empresas (INETI, 2007).

### **2.2.2 Política nacional de gestão de resíduos industriais**

A Política Nacional de Gestão de Resíduos considera prioritário reforçar a prevenção da produção de resíduos, no seio da qual se insere a problemática da redução. A **prevenção** situa-se no topo da hierarquia europeia da gestão de resíduos e pode entender-se de dois modos:

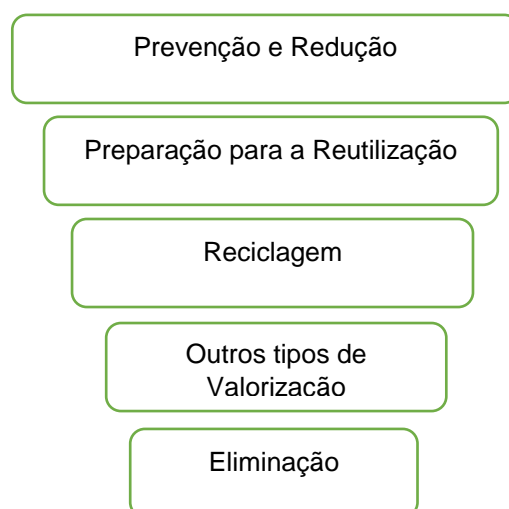
- Redução da quantidade de resíduos industriais produzidos;
- Redução da perigosidade dos resíduos industriais produzidos.

Através desta medida aumenta-se a ecoeficiência e reduzem-se os custos não produtivos de tratamento e destino final, conseguindo-se benefícios económicos.

Depois da prevenção, na hierarquia, segue-se a **reutilização e reciclagem**, sendo, também, uma forma de redução da produção de resíduos industriais. No caso de nenhuma destas operações serem viáveis, segue-se o caso da **eliminação**, que é definida como qualquer operação que não seja de valorização e que assegure um destino final adequado de resíduos (Resíduos menos, 2011).

As operações de eliminação ou valorização de resíduos terão de obedecer ao Anexo I e II do regime geral de gestão de resíduos (Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de setembro, republicado pelo Decreto-Lei nº 73/2011, de 17 de junho), que as enumera, identificando as que se encontram proibidas em território nacional (Resíduos menos, 2011).

Na **Figura 2.5** encontra-se a hierarquização das ações para a gestão de resíduos de acordo com a política europeia.



**Figura 2.5** – Hierarquização das ações para a gestão de resíduos.

### **3. Metodologia**

A metodologia adotada para a realização da análise sistemática ao caso de estudo incluiu diversas etapas.

Em primeiro lugar foi necessário realizar visitas à unidade industrial, de forma a identificar os seus limites físicos e o tipo de operações aí desenvolvidas. Estas visitas permitiram tomar contacto com o processo produtivo e recolher informação relativamente a *inputs* e *outputs* de cada operação unitária.

Seguidamente, fez-se a análise da informação recolhida ao longo das visitas e da informação disponibilizada pelos interlocutores da unidade industrial.

Deste modo, foi possível caracterizar a situação de referência em termos da gestão da água/águas residuais e gestão de resíduos, ou seja, estabelecer o desempenho ao nível ambiental que a unidade industrial tem atualmente.

Tendo por base o cenário de referência, e após uma análise crítica do mesmo, identificaram-se os aspetos ao nível dos quais seria mais interessante intervir, no sentido de melhorar o atual desempenho. Posteriormente, fez-se um trabalho de pesquisa bibliográfica que permitiu dar suporte à sugestão de medidas de melhoria, quer ao nível do processo produtivo quer da gestão de água/águas residuais e resíduos.

## **4. Caso de Estudo**

### **4.1 Caracterização da unidade industrial**

Localizada no distrito de Leiria, a unidade fabril em estudo insere-se no setor metalomecânico, cujo C.A.E é o 28150.

Esta empresa emprega cerca de 420 pessoas, contando com trabalhadores diretos, indiretos e temporários. No que diz respeito ao horário diário, são feitos 3 turnos de 8 horas (com possibilidade de horas extra ao sábado) durante seis dias da semana. Ao longo do ano a fábrica não encerra, laborando continuamente durante 12 meses.

As instalações ocupam uma área total de 72760 m<sup>2</sup>, onde os dois principais edifícios ocupam 15899 m<sup>2</sup>, e a restante área é ocupada por um pinhal.

Relativamente ao ordenamento de território, a zona onde se encontra a unidade industrial, é uma zona mista, logo não requer qualquer cuidado específico a nível ambiental.

Relativamente à certificação ambiental e de segurança, a unidade tem implementadas a Norma ISO 14001, cujo principal objetivo é fazer a verificação da política ambiental implementada, e a Norma OHSAS 18001, que tem como objetivo principal orientar a formação de um sistema de gestão e certificação da segurança e saúde ocupacionais. A indústria em questão também aderiu ao Sistema de Eco gestão e Auditoria da União Europeia (EMAS).

## **4.2 Aspectos e impactes ambientais**

Segundo a NP EN ISSO 14001:2004 (Sistemas de Gestão Ambiental), **Aspeto Ambiental** é definido como um “elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização que possa interagir com o Ambiente”. Define também, **Impacte Ambiental** como “qualquer alteração no Ambiente, adversa ou benéfica, resultante, total ou parcialmente, dos aspetos ambientais de uma organização”.

Neste mundo onde a legislação a nível ambiental se encontra cada vez mais restritiva, e onde os mercados estão cada vez mais competitivos, resta às empresas adaptarem-se com o objetivo de se tornarem mais eficientes, tanto do ponto de vista produtivo como do ambiental. Isto significa que o aumento da produção industrial por parte das indústrias deverá estar relacionado a um menor consumo de matérias-primas e geração de resíduos.

Os principais aspetos ambientais que se encontram neste setor industrial são o consumo de recursos (matérias-primas, água e energia) e a geração de resíduos sólidos e líquidos. Em menor grau, surgem os efluentes gasosos e as emissões atmosféricas.

Como os principais processos utilizam fluidos de corte e/ou lubrificantes, o consumo destes e a respetiva gestão representam os aspetos ambientais mais relevantes. O consumo de água deve-se, principalmente, à formulação dos fluidos de corte aquosos (emulsões).

No que diz respeito a emissões atmosféricas, estas não representam um aspeto ambiental relevante neste tipo de indústrias.

### 4.3 Fluidos de corte

Neste capítulo, meramente teórico, será dada uma explicação sobre a função, constituição e vias de degradação dos diferentes fluidos de corte existentes, apoiado no “Manual de Produção + Limpa da Indústria Metalomecânica” (BenchMark A+E, 2011).

Como veremos no Capítulo 4.4.2, os fluidos de corte estão presentes em praticamente todas as operações existentes nesta unidade industrial, sendo estes de extrema importância.

Durante o processo de corte de metais, o efeito produzido pelas ferramentas de corte e a resistência do metal a ser cortado, geram uma grande quantidade de calor, em função da intensidade da fricção entre a ferramenta e a peça a maquinar. Para que a peça trabalhada não acabe defeituosa e a ferramenta não seja danificada, através de reaquecimento da mesma, este calor deve ser controlado de forma eficaz, com o auxílio do fluido de corte. Posto isto, as principais funções dos fluidos de corte são:

- **Lubrificação:** Reduz a energia necessária para vencer as forças de atrito e melhora o acabamento superficial ao facilitar o deslize entre a ferramenta e a peça. A lubrificação é um requerimento prioritário nas operações de acabamento em que não se alcançam níveis térmicos importantes ou não se retira grande quantidade de material excedente;
- **Refrigeração:** Mitiga o desequilíbrio térmico do sistema gerado durante o processo pela fricção entre a peça e a ferramenta, evitando a deterioração prematura da última;
- **Remoção de material excedente:** O material excedente (aparas) tende a acumular-se nas imediações da área de corte, dificultando a correta transformação da peça e a dissipação natural do calor;
- **Melhoria do acabamento da peça;**
- **Redução do desgaste das ferramentas;**
- **Proteção contra a corrosão:** Proteger a máquina, a ferramenta, a peça e as aparas.

Os fluidos de corte têm evoluído ao longo do tempo paralelamente aos processos de transformação (começaram por ser uma mistura simples de água e antioxidante). Esta evolução baseou-se maioritariamente na potenciação das suas propriedades de melhoria através da adição de diversos compostos químicos. A adição destes compostos químicos (aditivos), melhoram as propriedades dos fluidos atribuindo-lhes novas características, como por exemplo:

- A modificação de uma propriedade física (pressão de trabalho do fluido, viscosidade);
- Aquisição de um efeito químico benéfico (anticorrosivo, antioxidante).

Os fluidos de corte são formulados com uma base de óleo mineral, vegetal ou sintético. São de alta qualidade e estabilidade, de diversas viscosidades e agregam aditivos para garantir as propriedades pretendidas. Estes fluidos dividem-se quimicamente em dois grupos:

- **Óleos de corte ou fluidos oleosos:** são óleos integrais isentos de água. Não são corrosivos e mantêm-se limpos, podendo ser utilizados por largo período de tempo;

- **Emulsões / Fluidos de corte aquosos:** os fluidos de corte aquosos são concentrados que são posteriormente diluídos com água, no momento da sua utilização, nas proporções indicadas pelo fabricante.

Na **Tabela 4.1** e na **Tabela 4.2** encontram-se as características dos óleos de corte e dos fluidos de corte à base de água, respetivamente.

**Tabela 4.1** - Características dos óleos de corte.

<b>Tipo</b>	<b>Características</b>
Base mineral	São óleos derivados do petróleo de base parafínica e com baixo nível de carbonos aromáticos, para não causar danos à saúde do operário.
Base sintética (ésteres)	São obtidos por síntese química a partir de moléculas provenientes do petróleo; apresentam maior durabilidade, sendo provenientes de uma película lubrificante muito mais resistente, suportam temperaturas superiores, reduzem a fricção; no entanto, necessitam de aditivos adequados relativamente aos de base mineral.
Base vegetal (ésteres gordurosos saturados e não saturados)	São óleos mais ecológicos, tendo a desvantagem de oxidarem rapidamente; possuem uma significativa mistura de componentes que podem apresentar, com o uso contínuo, mau odor ou crescimento biológico.
Mistura	Mistura de óleos sintéticos e minerais para dar maior compatibilidade e eficácia aos aditivos.

**Tabela 4.2 – Características dos fluidos à base de água.**

<b>Tipo</b>	<b>Características</b>
Emulsões (compostos misturados com água em diversas concentrações, de aspeto leitoso)	<p>São uma mistura de óleos, minerais e vegetais, de alta qualidade, com viscosidades diversas que formam emulsões leitosas de bom poder lubrificante, mas muito suscetíveis a deterioração biológica.</p> <p>Utilizam-se na proteção de superfícies metálicas, gerando a nível superficial uma camada protetora anticorrosiva e em operações de alta velocidade, devido à grande capacidade de refrigeração que possuem.</p>
Fluidos sintéticos “verdadeiros” (base polímero)	<p>Estes fluidos não formam emulsões mas sim soluções químicas verdadeiras, sendo assim denominados de “sintéticos verdadeiros”.</p> <p>Contêm óleos minerais sintéticos, aditivos e entre 50 % a 75 % de água.</p> <p><b>Vantagem:</b> a capacidade de não absorverem os óleos contaminantes das máquinas e possuírem excecional resistência biológica.</p> <p><b>Desvantagem:</b> prende-se com o fato de precipitarem resíduos cristalinos de sais gerados pela evaporação da água nas condutas por onde circulam.</p> <p>São preferencialmente utilizados em tarefas em que a função refrigerante e a proteção anti oxidante são prioritária, tais como na retificação.</p>
Fluidos semissintéticos	<p>Possuem uma maior percentagem de óleo mineral que lhes permite maior capacidade lubrificante e, conseqüentemente, perdem a capacidade de repelir outros óleos.</p> <p>O seu uso estende-se a operações em que tanto a lubrificação como a refrigeração são importantes.</p>
Fluidos sintéticos de base vegetal ou de base éster	<p>São fluidos em que a base mineral foi totalmente substituída por uma base vegetal ou éster (sintética) e formam emulsões semelhantes aos fluidos semissintéticos.</p> <p>Suscetíveis a contaminação por outros óleos de base mineral.</p> <p>Apresentam excelentes propriedades lubrificantes, sendo adequados para a maioria das operações de corte, mas apresentam maior tendência para a geração de espuma que os fluidos semissintéticos ou sintéticos “verdadeiros”.</p>

É extremamente importante fazer um controlo da qualidade destes fluidos de corte. O controlo analítico dos parâmetros que nos indicam o grau de degradação destes fluidos, é a forma mais eficaz para prolongar a vida útil dos mesmos.

Os óleos de corte não sofrem processos graves de degradação ao contrário dos fluidos de corte aquosos. No entanto, as suas propriedades vão sendo alteradas com o tempo de uso. Estas alterações são causadas devido a:

- **Fadiga térmica:** os hidrocarbonetos e outros elementos adicionais degradam-se por efeito das altas temperaturas alcançadas durante a maquinagem;
- **Reações químicas:** a presença de elementos externos ao fluido de corte como aparas metálicas, óleos hidráulicos, etc., supõe uma via de entrada de elementos com os quais o óleo reage quimicamente modificando a sua composição e estrutura.

Com a aplicação correta de um plano de controlo e manutenção para os óleos de corte, estes podem atingir períodos de utilização superiores a 8 anos. Na **Tabela 4.3** surgem os parâmetros com maior relevância no controlo dos óleos de corte.

**Tabela 4.3 – Principais parâmetros de controlo analítico dos óleos de corte.**

Parâmetro	Tempo estimado por medição	Valor limite recomendado	Método de medição	Medidas corretivas
Viscosidade	10 - 30 min	Variação de 15 % sobre o valor inicial	Viscosímetro	Adequar condições de fornecimento ou substituir fluido
Índice de acidez	20 - 30 min	Incremento 1-1,5 mg KOH/g	Avaliação	Adicionar neutralizadores
Corrosão do cobre	Variável	Incremento de 1 unidade	Teste específico	Analisar a natureza dos produtos corrosivos e atuar em conformidade
Água	5 - 10 min 30 - 60 min	0,1 % em peso	Avaliação Karl-Fisher Destilação	Filtros de desumidificação
Espectro infravermelho	30 min	Grandes variações sobre espectro inicial	Espectrofotómetro IV	Variáveis segundo a natureza das modificações do espectro
Insolúveis	Variável	1 %	Gravimetria	Filtrado
Análise de aditivos	Variável	< 50 % do valor inicial	Variável em função da natureza do aditivo	Variável em função da natureza do aditivo

A periodicidade destes controlos analíticos depende da taxa de renovação do óleo de corte na instalação, que por sua vez, depende da maior ou menor quantidade de perdas que se produzam por salpicos, arrastos, captação de óleo pelos elementos de filtragem, etc. Assim, para uma taxa de



renovação mínima, onde, praticamente, não existam perdas e a adição periódica de óleo de corte seja em quantidade pequena em comparação com o volume total contido na instalação, deve realizar-se uma análise a cada três meses. No caso oposto, quando a quantidade de óleo de corte que se vai repondo na instalação periodicamente, para compensar as perdas seja considerável, é aconselhável realizar a análise de seis em seis meses.

Na unidade industrial em estudo, os óleos de corte à base de água são controlados três vezes por semana, enquanto que os óleos de corte inteiros são controlados uma vez por mês, tudo no laboratório interno. Os parâmetros controlados são: pH, alcalinidade, sujidade, teor de cloretos, teste de corrosão, dureza total e microbiologia, no caso dos óleos de corte à base de água, e sujidade, densidade e viscosidade para os óleos de corte inteiros.

Os fluidos de corte aquosos, justamente devido à sua natureza aquosa, degradam-se muito facilmente caso não recebam o cuidado necessário. Entre as principais causas para esta degradação encontram-se:

- **Desenvolvimento e proliferação de microrganismos:** bactérias, fungos e leveduras metabolizam os componentes do fluido de corte aquoso, modificando e degradando a sua estrutura química. Este fenómeno é favorecido pela presença de partículas sólidas e óleos;
- **Reação química com partículas metálicas:** as lamas e aparas, ao entrar em contato com o fluido, oxidam-se parcialmente degradando o fluido de corte. Este fenómeno é favorecido pelas altas temperaturas;
- **Fadiga térmica:** as temperaturas elevadas catalisam mudanças na estrutura físico-química do fluido de corte.

De todos estes fatores, o que mais influência tem na degradação do fluido de corte aquoso, é o aparecimento de microrganismos. Estes organismos, obtêm a energia necessária para sobreviverem degradando (catabolizando) e consumindo as moléculas que são facilmente biodegradáveis, presentes no fluido de corte. Mais uma vez, na **Tabela 4.4** surgem os parâmetros mais importantes para que se consiga controlar a qualidade dos fluidos de corte aquosos.

**Tabela 4.4 – Principais parâmetros de controlo analítico dos fluidos de corte aquosos.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Tempo estimado por medição</b>	<b>Método de medição</b>	<b>Periodicidade</b>	<b>Medidas corretivas</b>
Concentração	5 – 10 min	Refratómetro	1 medição/dia	Adicionar concentrado ou água desmineralizada de acordo com as necessidades.
Valor pH	1 – 5 min	Papel indicador de pH	1 medição/dia	Medir outros parâmetros associados para concretizar possíveis medidas.
Óleos livres	Variável	Análises específicas	Quinzenal	Adequar medidas de manutenção.
Concentração de microrganismos	Variável	Kit de deteção rápida Análises específicas	Quinzenal	Ajustar concentração de biocida ou substituir o fluido de corte.
Condutividade	1 – 5 min	Condutímetro	Mensal	Analisar metais pesados tóxicos e no caso da concentração ser superior aos limites estabelecidos, substituir o fluido de corte.
Teor de nitritos	15 min Variável	Análises específicas Kit de deteção rápida	Mensal	Analisar nitrosaminas e no caso de o resultado ser positivo, substituir o fluido de corte.
Teor de biocida	Variável	Análises específicas	Mensal	Ajustar a dosagem.

Os fluidos de corte passam a ser denominados por resíduos quando a sua natureza física e química se degrada de tal forma que não podem cumprir as funções básicas para as quais foram concebidos.

Relativamente aos fluidos de corte aquosos, devido à sua natureza orgânica dispersa em meio aquoso, considera-se a ação bacteriana como a principal causadora da degradação dos fluidos de corte. As bactérias anaeróbias reproduzem-se rapidamente nestes ambientes industriais, sendo o seu crescimento favorecido pela presença de partículas sólidas e óleos livres. Estas partículas representam um suporte físico ideal, enquanto que a existência de óleos livres na camada superficial destes fluidos, impendem a sua oxigenação, garantindo as condições de anaerobiose.

Os principais riscos ambientais associados à geração e gestão destes fluidos estão diretamente relacionados com a sua natureza, uma vez que estes são totalmente dispersáveis num qualquer ambiente aquoso. Por esta razão, todos os contaminantes presentes nestes fluidos, são de uma extrema facilidade de transmissão.

No que diz respeito aos resíduos de óleo de corte, quando comparados com os anteriores, apresentam uma vantagem do ponto de vista ambiental, uma vez que não são solúveis em água. Assim, o seu impacto ambiental é limitado, mas não deixam de apresentar um alto potencial nocivo. Alguns contaminantes que estejam incorporados nestes óleos podem solubilizar-se na água, aquando de contato prolongado, e o fato de permanecerem na camada superficial em meios aquosos, dificultam a oxigenação do meio.

Na **Tabela 4.5** estão sintetizados os contaminantes habituais nos fluidos de corte degradados, bem como a indicação da sua dispersão no meio aquoso, os riscos inerentes a essa dispersão e a expectativa máxima de vida útil do fluido de corte.

**Tabela 4.5** – Contaminantes habituais presentes nos fluidos de corte degradados.

<b>Produto de Origem</b>	<b>Contaminantes Habituais</b>	<b>Dispersão em meio aquoso</b>	<b>Riscos associados</b>	<b>Expectativas máximas de vida útil</b>
Fluido de corte aquoso	<ul style="list-style-type: none"><li>• Metais pesados;</li><li>• Nitritos;</li><li>• Aminas;</li><li>• Derivados do boro;</li><li>• Hidrocarbonetos solubilizados;</li><li>• Óleos livres;</li><li>• Fenóis;</li><li>• Partículas metálicas.</li></ul>	Total	<ul style="list-style-type: none"><li>• Contaminação aquosa e de solos;</li><li>• Riscos de saúde ocupacional.</li></ul>	2 – 3 anos
Óleo de corte	<ul style="list-style-type: none"><li>• Metais pesados;</li><li>• Parafinas cloradas;</li><li>• Óleos com enxofre, fósforo e sulfoclorados;</li><li>• Partículas metálicas;</li><li>• Compostos policíclicos.</li></ul>	Limitada	<ul style="list-style-type: none"><li>• Contaminação aquosa e de solos;</li><li>• Riscos de saúde ocupacional;</li><li>• Inflamabilidade.</li></ul>	8 – 10 anos

Para qualquer um dos tipos de fluido de corte, a via mais direta para a contaminação do meio são as fugas, salpicos e derrames. Apesar destes acontecimentos manifestarem-se a uma baixa intensidade, a sua persistência faz com que sejam um dos fatores com maior impacto no meio ambiente.

As fugas dos sistemas de fornecimento de fluido de corte devem-se, em grande parte dos casos, a falhas no cumprimento do plano de manutenção do sistema. No que diz respeito aos salpicos, as máquinas mais modernas já têm incorporados sistemas de retenção, no entanto, para as que não têm, estes salpicos dão-se, sobretudo, devido às altas velocidades de processamento. É um fenómeno que acontece com mais intensidade quanto menor for a viscosidade e a aderência do fluido de corte ao

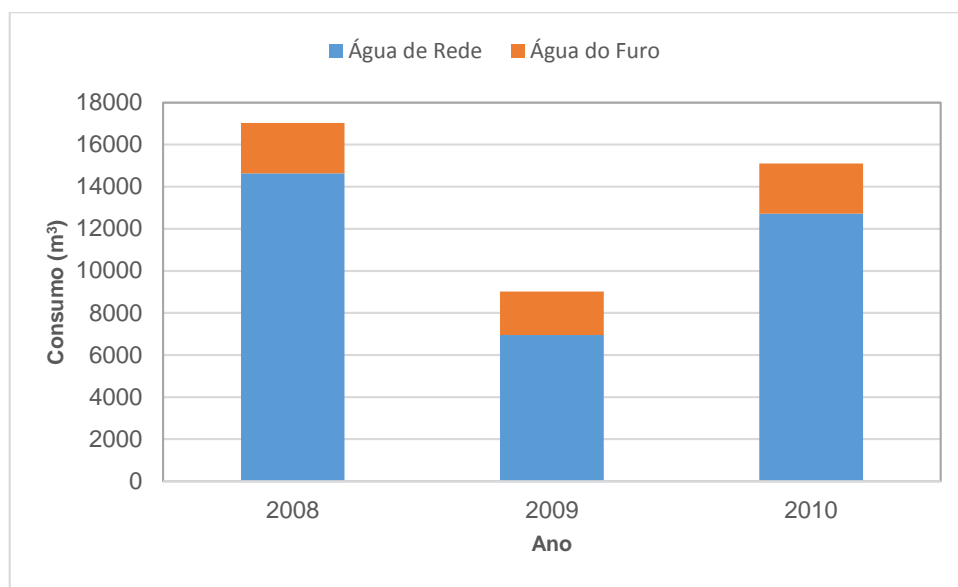
metal. Posto isto, pode-se dizer que um óleo de corte tem uma maior capacidade de aderência ao metal quando comparado com um fluido de corte aquoso.

As aparas, limalhas e outras partículas ferrosas e não ferrosas têm maior probabilidade de ser arrastadas quando o fluido de corte é mais oleoso. Assim, a utilização de óleos de corte proporciona um maior arrastamento destes resíduos.

## 4.4 Situação de referência

### 4.4.1 Origem e tratamento da água

A água necessária para a realização das tarefas diárias na unidade industrial provém de duas origens: um furo existente nas instalações e a água de rede disponibilizada pelos serviços municipais da zona. Na **Figura 4.1** surge o gráfico com a informação relativa aos consumos anuais de água, entre 2008 e 2010, das duas diferentes origens.



**Figura 4.1** – Consumo anual de água, m³, entre 2008 e 2010.

O decréscimo significativo do consumo de água em 2009 deveu-se à redução de tempo de trabalho decorrente do processo de *lay-off* pelo qual a empresa atravessou durante uma parte do ano.

Consoante os requisitos de qualidade da água para os diferentes usos, esta pode ser sujeita a tratamento. Na **Tabela 4.6** está sintetizada a origem da água e o tratamento a aplicar consoante o seu uso dentro da unidade industrial.

**Tabela 4.6** - Origem, tratamento e utilização da água na unidade industrial.

Origem	Tratamento	Utilização
Furo	-	Descarga de WC e rega.
Rede	-	Cantina, lavagem de pavimento, sistema de combate a incêndio, torres de refrigeração, lavatórios e balneários.
	Carvão Ativado + Osmose Inversa	Processo produtivo.

A água da rede, apesar de ser considerada uma água “mole”, uma vez que apresenta valores de dureza a variar entre 5 e 7 °dGH, tem que ser sujeita a tratamento antes de ser utilizada no processo produtivo, para retirar todos os sais dissolvidos, e assim, permitir que o tempo de vida útil das emulsões seja

prolongado, assim como o dos equipamentos. Para uma eventual utilização da água proveniente do furo, o tratamento teria de ser ainda mais exigente, uma vez que esta é considerada uma água “muito dura” (33 a 35 °dGH). Na **Tabela 4.7** são apresentadas análises à água do furo.

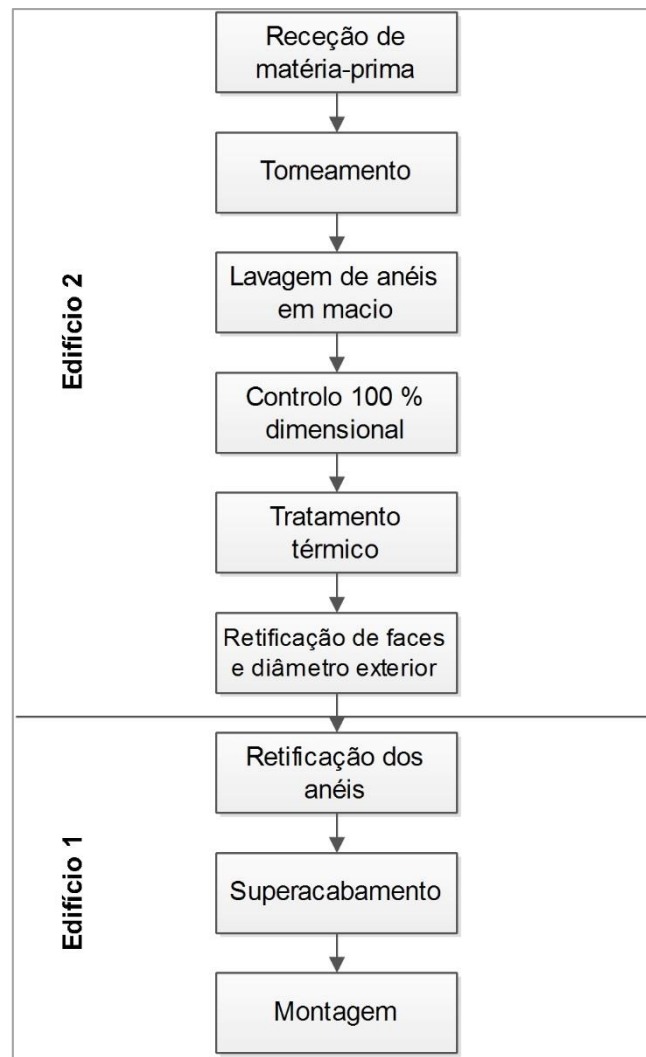
Relativamente à rede de água de incêndio (RAI), neste momento encontra-se ligada à água de rede. No entanto, há um projeto em execução, onde se pretende que haja um tanque de água de incêndio e uma central de bombagem, composta por uma bomba elétrica e outra a diesel, que assegurarão o abastecimento desta RAI, mesmo em casos de falha de energia. A origem da água para armazenamento ainda não está decidida sendo a água da rede ou do furo as duas alternativas.

**Tabela 4.7** - Análises da água do furo existente nas instalações.

Parâmetros	Unidade	Data de Amostragem		
		14/11/2011	26/11/2012	01/07/2013
Salinidade (CE)	dS/m	< 0,1	< 0,1	1
SAR	mEq/L	1	3	1
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	780	846	790
pH	Esc. Sorensen	7,4	7,5	7,7
Cloretos	mg/L Cl	70	65	72
Óleos e Gorduras	mg/L	< 0,2	< 0,01	< 0,01
Hidrocarbonetos Totais	mg/L	< 0,2	< 0,05	< 0.05

#### **4.4.2 Descrição do processo produtivo**

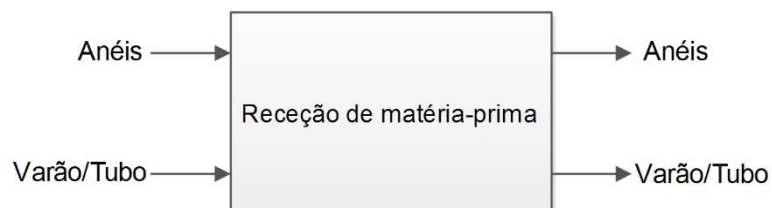
As etapas principais do processo produtivo, representadas na **Figura 4.2**, serão descritas posteriormente, dando particular relevo à produção de águas residuais, fluidos de corte degradados e resíduos metálicos (limalhas, aparas e sucata metálica).



**Figura 4.2** – Principais etapas do processo produtivo.

#### I. RECEÇÃO DE MATÉRIA PRIMA

Esta zona situa-se à entrada do pavilhão 2, e é o local onde o aço é recebido na fábrica. Este aço pode vir em varão/tubo ou em anéis. Presentemente, apenas 10% da produção total é torneada nas instalações, sendo os restantes 90% importados e enviados diretamente para o processo de lavagem de anéis em macio. Na **Figura 4.3** apresenta-se um esquema com a representação das entradas e saídas desta zona.



**Figura 4.3** - Fluxo de material na zona de receção de matéria-prima.

## II. TORNEAMENTO

Apenas o aço recebido em forma de varão ou tubo passa pelo processo de torneamento. Este consiste no corte do varão ou tubo em anéis e na perfilagem interior, por intermédio do navalhão, do caminho dos anéis onde vão assentar as esferas. Os tornos trabalham com um óleo de corte inteiro (Ilocut-R) e energia elétrica.

Relativamente aos resíduos produzidos, há a produção de limalha e óleo de corte usado, embora o óleo funcione em circuito fechado. A limalha produzida durante o torneamento do tubo e varão é encaminhada de cada máquina por arpão (tapete rolante dentado) para a cave do edifício onde existe um sistema de trituração (para minimizar o volume ocupado no armazenamento) e centrifugação da mesma (para recuperação do óleo).

Nesta operação, há sempre alguma quantidade de limalha que é arrastada pelo óleo de corte, acabando por degradar este fluido. Grande parte desta limalha é separada com o auxílio de um tapete rolante dentado magnético, e o óleo é recolhido para um contentor localizado no parque de resíduos. Neste contentor ainda se dá a decantação de alguma quantidade de limalha que não foi recolhida pelo tapete rolante dentado. Após esta separação, o óleo de corte recuperado é encaminhado para um depósito de decantação, com o objetivo de recuperar a qualidade necessária para ser reintroduzido no processo produtivo.

A limalha, que é proveniente do torneamento e a que é separada do óleo de corte, é recolhida e valorizada, sendo derretida para a produção de materiais em aço. Na **Figura 4.4** apresenta-se um esquema a ilustrar o processo de Torneamento.



**Figura 4.4** – Esquema ilustrativo do processo de Torneamento.

## III. LAVAGEM DE ANEIS EM MACIO E CONTROLO 100% DIMENSIONAL

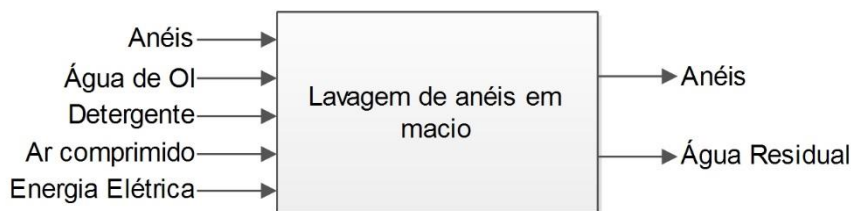
É na lavagem de anéis em macio que se juntam todos os anéis – os importados e os torneados. Esta lavagem tem como objetivo a remoção de todos os pequenos resíduos existentes, sendo eles, poeiras metálicas, resquícios de óleo de corte inteiro utilizado no torneamento e óleo de conservação, no caso dos anéis importados. Denomina-se lavagem em macio porque os anéis ainda não foram submetidos ao processo de têmpera (a 850°C) e por isso ainda não possuem a dureza que adquirirão nesse processo (pós-têmpera). Esta lavagem é realizada com recurso a água tratada por osmose inversa (OI) e detergente.



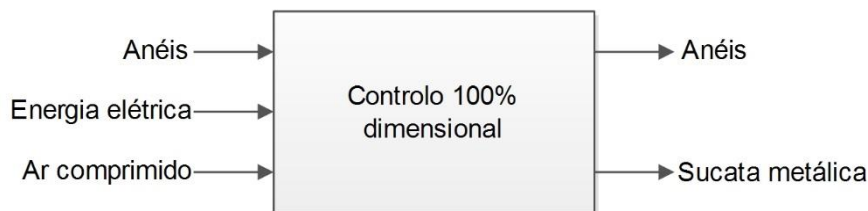
Desta lavagem resulta uma água residual, que é tratada pelo sistema de ultrafiltração, antes de ser descarregada no coletor municipal.

O passo seguinte é o controlo 100% dimensional que assegura que todos os anéis que passam para as etapas seguintes têm a dimensão desejada.

Na **Figura 4.5** e na **Figura 4.6** estão ilustrados os processos de Lavagem Geral e Controlo 100 % Dimensional, respetivamente.



**Figura 4.5** - Esquema ilustrativo da Lavagem Geral.



**Figura 4.6** - Esquema ilustrativo do Controlo 100 % Dimensional.

#### IV. TRATAMENTO TÉRMICO

O tratamento térmico divide-se em 3 etapas: têmpera, lavagem e revenido. Na têmpera, os anéis são introduzidos num forno a 850 °C. A atmosfera é enriquecida em carbono com recurso a metanol e propano para promover a cementação dos anéis. A percentagem de carbono que terá de existir no interior do forno terá que ser igual à do aço (1%) para que não exista enriquecimento (cementação) ou empobrecimento (descarbonatação) superficial do mesmo.

Depois de submetidos à temperatura de austenização (850°C), os anéis caem num banho de óleo a 60°C em que se dá o choque térmico e seguem através do tapete rolante para a lavagem. A lavagem é mais uma vez efetuada com água tratada por Oi e detergente.

Na última fase do tratamento térmico, o revenido, os anéis sofrem novo aquecimento, desta vez a 200 °C, cujo objetivo é remover tensões internas com consequente ligeiro abaixamento da dureza.

É importante referir que, o aquecimento é conseguido através de gás natural, e o arrefecimento com o auxílio de óleo de têmpera, que é mantido a uma temperatura estável pela torre de refrigeração. Na **Figura 4.7** surge um esquema deste processo.



**Figura 4.7** - Esquema ilustrativo do Tratamento Térmico.

## V. RETIFICAÇÃO DE FACES E DIÂMETRO EXTERIOR

Tal como o nome indica, nesta fase é feita a retificação da face e diâmetro exterior do anel. São utilizadas mós, cujo contato com o anel permite a retificação, e emulsão constituída por 96% de água tratada por OI e 4% de fluido de corte (Synthilo 225 R). A emulsão serve para que durante o contato entre os anéis e as mós, não haja sobreaquecimento do anel, e consequentemente, do equipamento.

No que se refere à produção de resíduos, nesta fase é produzida uma lama metálica (mistura de resíduos de aço com fluido de corte), que é depositada no respetivo contentor no parque de resíduos, onde permanece durante algum tempo para que o fluido de corte seja separado por decantação. Este óleo é reutilizado e o restante resíduo é recolhido juntamente com a limalha, para sofrer o mesmo tipo de valorização (derretimento para formação de nova matéria-prima). Na **Figura 4.8** temos um esquema ilustrativo destas duas retificações.



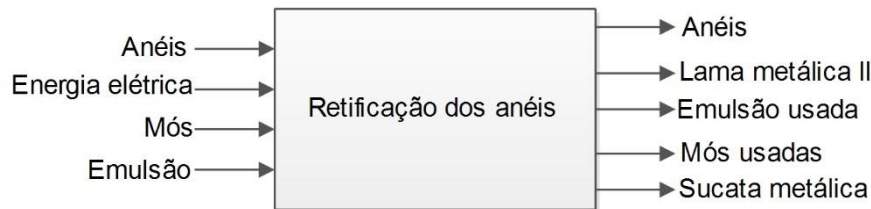
**Figura 4.8** - Esquema ilustrativo da Retificação de Faces e de Diâmetro Exterior.

## VI. RETIFICAÇÃO DOS ANÉIS

Nesta fase é feita a retificação do caminho do anel interior (AI) e anel exterior (AE) e a retificação do furo do AI. Mais uma vez são utilizadas mós e, neste caso, o fluido de corte utilizado na emulsão é um óleo de corte inteiro.

Desta etapa resultam lamas metálicas, que são transportadas para um outro contentor no parque de resíduos, e que à semelhança das anteriores, sofrem uma separação sólido-líquido por ação da gravidade. A emulsão que é recolhida nesta decantação, segue para um filtro de cinta, para adquirir as características exigidas para reintrodução no processo produtivo.

Relativamente às lamas, estas representam uma despesa para a empresa, uma vez que há custos associados à sua recolha pela empresa externa. Na **Figura 4.9** apresenta-se um esquema ilustrativo deste processo.



**Figura 4.9** - Esquema ilustrativo da Retificação dos Anéis.

## VII. SUPERACABAMENTO

Pode considerar-se uma retificação “fina”, de pormenor, isto é, nesta fase dá-se o “último toque” ao anel, incidindo apenas no caminho onde a esfera trabalha. Em vez de mós, são utilizadas pedras pequenas com a mesma finalidade, e os óleos utilizados na emulsão são o Honilo 981 e Honilo 989 F. Quando é necessário repor óleo, a razão é de 3:1, ou seja, por cada 3 L de Honilo 981, mistura-se 1 L de Honilo 989 F.

Mais uma vez a lama resultante é transportada para o parque de resíduos para um contentor específico, onde ocorre a separação sólido-líquido. O óleo decantado é enviado para um hidrociclone, onde se procede a uma separação sólido-líquido mais eficaz, permitindo a sua reutilização.

A lama resultante desta operação, cuja constituição é maioritariamente pó de diatomite (utilizada no sistema de filtração do óleo de superacabamento), representa, também uma despesa para a empresa.

A **Figura 4.10** esquematiza o processo de Superacabamento.



**Figura 4.10** - Esquema ilustrativo do Superacabamento.

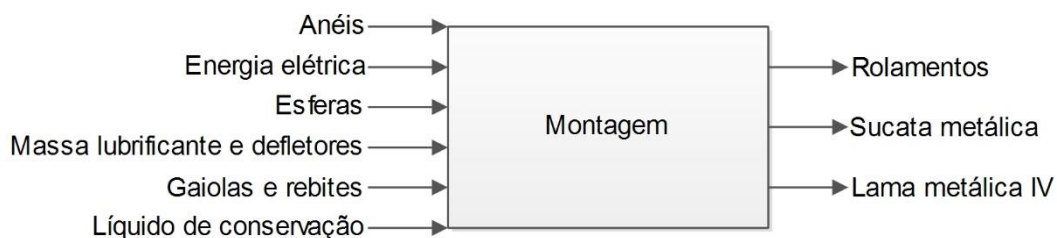
## VIII. MONTAGEM

A montagem é a última etapa de todo o processo e pode dividir-se em 6 sub-etapas, sendo elas:

1. Junção dos anéis: junção do AI e AE;
2. Junção das esferas, entre os dois anéis;
3. Implantação de gaiolas, para segurar as esferas;
4. Conservação, com líquido de conservação;
5. Lubrificação através de massa lubrificante e introdução de defletores (servem para conter a massa lubrificante no interior dos rolamentos e proteger de qualquer contaminação);
6. Embalamento.

Relativamente ao embalamento, há várias formas de o fazer, podendo ser em caixas com vários rolamentos, ou em embalagens individuais. Nas caixas com vários rolamentos, a empresa adotou uma medida para diminuir a emissão de GEE durante o transporte, passando a utilizar uma camada insuflada em vez de cartão entre cada camada de rolamentos, diminuindo assim a massa de mercadoria a transportar.

Durante a montagem ainda são produzidas lamas, resultantes de restos do superacabamento e da implantação das gaiolas com o auxílio de rebites, cuja função é segurar as esferas entre os dois anéis. Na **Figura 4.11** está esquematizado o processo de Montagem.



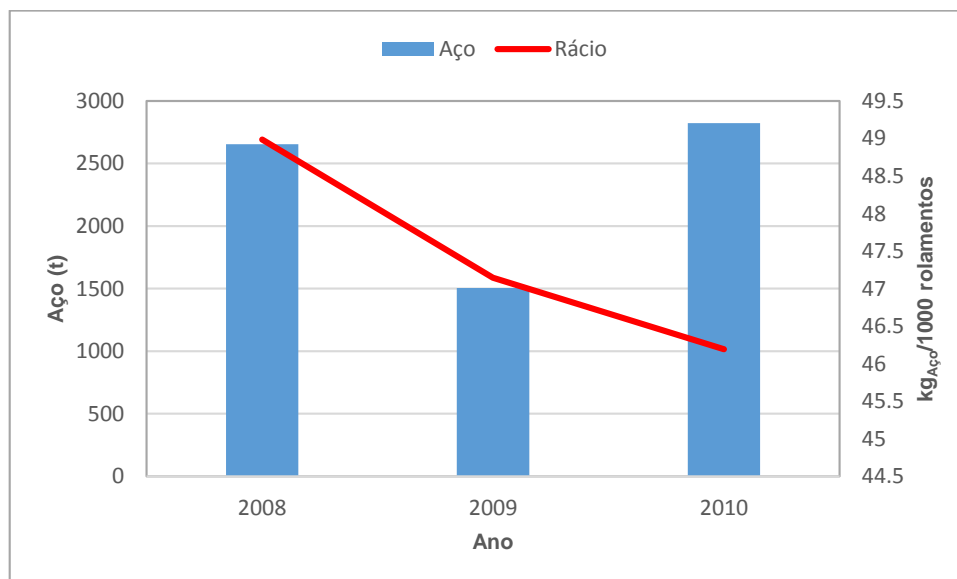
**Figura 4.11** - Esquema ilustrativo da Montagem.

### 4.4.3 Produção e consumos na unidade industrial

Um dos objetivos das indústrias nos dias de hoje, é minimizar os seus consumos, quer sejam de água, eletricidade, matérias-primas, etc. Esta diminuição no consumo, na maior parte dos casos, reflete-se numa maior percentagem de lucro, uma vez que há um decréscimo nas despesas. Contudo, pode acontecer que haja um aumento no consumo, causado pela necessidade de aumentar a produção. Assim, sendo, podemos dizer que o objetivo passa por produzir o máximo de produto utilizando o mínimo de recursos.

Começando pelo consumo anual de aço, é notória a tendência decrescente da quantidade necessária deste material para a produção de rolamentos. Existem duas razões para esta diminuição: em 2009 foi

devido a uma quebra na produção, em 2010, foi nitidamente devido a um aumento da eficiência, uma vez que a quantidade de aço utilizado foi maior do que em 2008, e no entanto este rácio continuou a diminuir. A **Figura 4.12** apresenta os valores, em toneladas, da quantidade de aço utilizada, e o rácio entre essa quantidade e a quantidade de rolamentos produzida, também em toneladas.



**Figura 4.12** – Variação do consumo de aço, entre 2008 e 2010.

Relativamente à produção total de rolamentos e sucata resultante desta produção, na **Tabela 4.8** apresenta-se a evolução ao longo de 3 anos. Entenda-se sucata como restos de aço ou rolamentos que não apresentam a qualidade necessária para a comercialização.

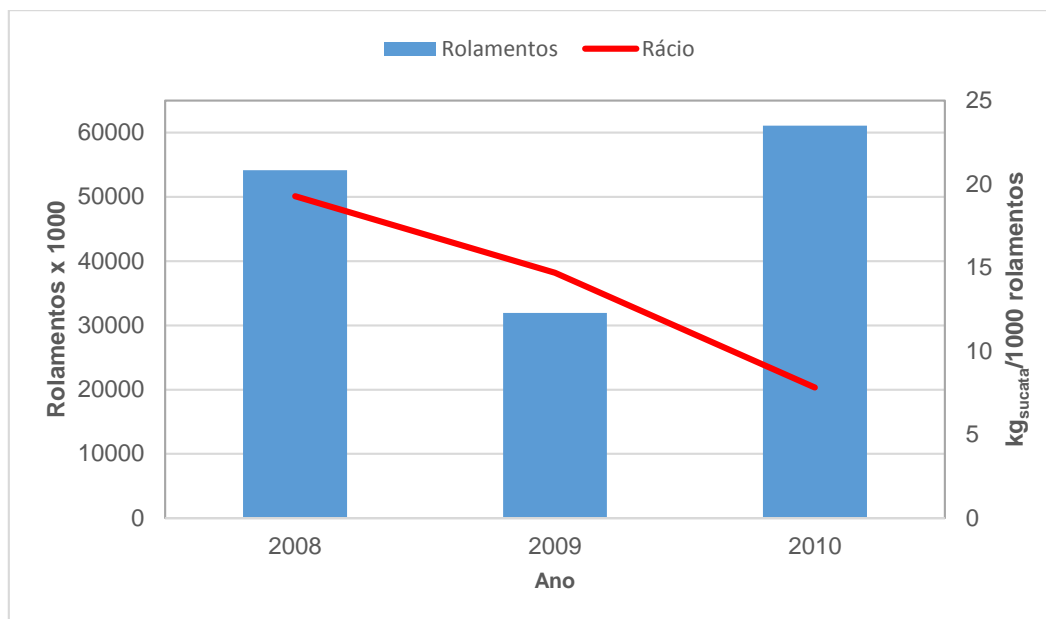
É notória uma acentuada quebra de produção no ano 2009, no entanto passou a existir uma produção mais eficiente comparativamente ao ano anterior. Esta eficiência mede-se através do rácio entre a quantidade de sucata produzida e a quantidade de rolamentos produzidos.

**Tabela 4.8** – Produção anual de rolamentos e sucata, entre 2008 e 2010.

Ano	2008	2009	2010
Rolamentos <sup>a)</sup>	54157	31922	61104
Sucata (t)	1044	469	478
Rácio (kg/1000 rolamentos)	19,3	14,7	7,8

a) O valor que surge na tabela terá de ser multiplicado por 1000 para corresponder ao valor real.

Entre 2009 e 2010 há uma melhoria assinalável a nível da eficiência de produção, uma vez que a produção de rolamentos, praticamente duplicou, enquanto que o rácio quilograma de sucata por mil rolamentos produzidos passou a ser quase 2 vezes inferior. Na **Figura 4.13** estão ilustradas estas variações.



**Figura 4.13** – Rolamentos produzidos anualmente e sucata resultante dessa produção, entre 2008 e 2010.

No que diz respeito ao consumo anual de água, na **Tabela 4.9** surgem os valores, em  $m^3$ , entre 2008 e 2010. Relativamente à água proveniente do furo, verifica-se que os valores não variam muito, uma vez que a sua utilização nada tem a ver com o processo produtivo. Por outro lado, a água proveniente da rede que entra no processo produtivo, reflete a quebra de produção no ano de 2009. No ano de 2010, houve um aumento de produção, ultrapassando os valores de 2008, no entanto o consumo de água foi menor quando comparado com este ano. Isto significa, que também ao nível do uso da água, passou a haver uma maior eficiência.

**Tabela 4.9** – Consumo, em  $m^3$ , de água na unidade industrial

Ano	2008	2009	2010
Água da rede	14632	6953	12724
Água do furo	2401	2065	2377
Total	17033	9018	15101

O decréscimo do valor do ICA entre 2008 e 2010 é, também, revelador dessa eficiência. No ano de 2008 este valor era de  $314,5 \text{ dm}^3$  por 1000 rolamentos produzidos, baixando para  $282,5 \text{ dm}^3$  por 1000 rolamentos em 2009 e em 2010 atingiu os  $247,1 \text{ dm}^3$  por 1000 rolamentos.

Uma outra forma de entender a eficiência ao nível do consumo de água, é através da comparação do caudal ( $m^3/h$ ) de água consumida, que surge na **Tabela 4.10**. Mais uma vez, o número de horas de laboração no ano de 2009, não deixam dúvidas da existência de uma quebra de produção, explicado pela ocorrência do *lay-off* mencionado anteriormente. Contudo, comparando o ano 2008 e 2010, onde

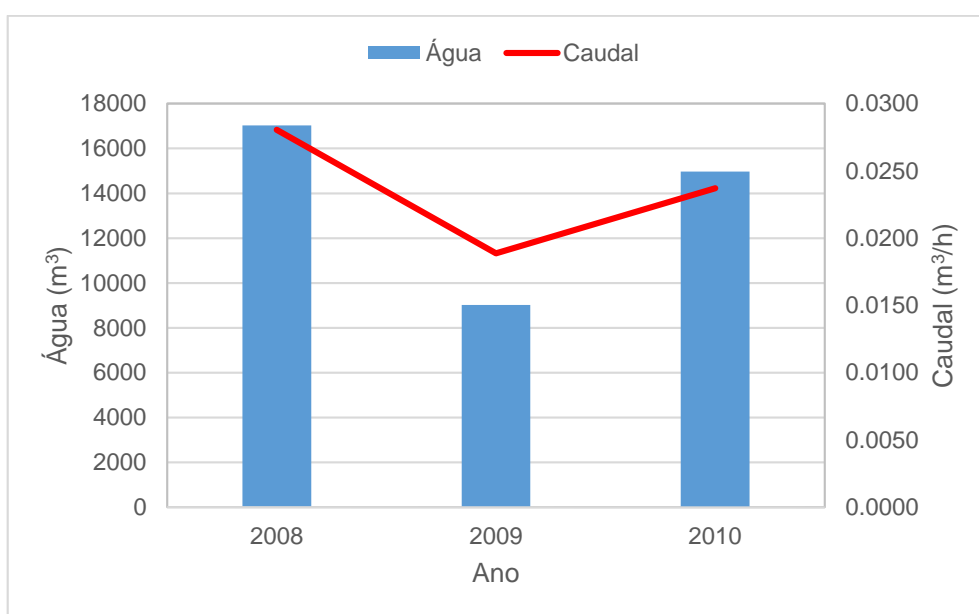
houve um aumento de produção, o caudal diminuiu, confirmando-se a melhoria a nível da eficiência do uso da água.

**Tabela 4.10** - Variação do caudal na unidade industrial (2008-2010).

Ano	2008	2009	2010
Volume (m <sup>3</sup> )	17033	9018	14968
Horas (h) <sup>a)</sup>	607	478	631
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	0,028	0,019	0,024

a) O valor que surge na tabela terá de ser multiplicado por 1000 para corresponder ao valor real.

Na **Figura 4.14** encontra-se esquematizada estas variações de volume de água consumido e do caudal, entre 2008 e 2010.



**Figura 4.14** – Variações do volume de água consumido, caudal e horas de laboração, entre 2008 e 2010.

#### 4.4.4 Origem, tratamento e destino das águas residuais

No que diz respeito à água residual gerada na indústria, existem redes separativas para a água residual doméstica e a água residual industrial. A água residual doméstica é proveniente da cantina, balneários e WC, e a água residual industrial provém do processo produtivo e da lavagem das instalações.

Relativamente ao tratamento sofrido, a água residual proveniente da cantina passa por um desgordurador para retirar os óleos e gordura antes de seguir para a unidade de ultrafiltração. Já a água residual proveniente do processo produtivo e lavagem das instalações segue diretamente para a

unidade de ultrafiltração, para se separar a gordura da água. A unidade de UF, fabricada por ORM/NOVASEP, é do tipo KARASEP BK, com as seguintes especificações:

- Limite de separação: 15 nm;
- Membranas:
  - Quantidade: 52;
  - Material: Cerâmica;
  - Diâmetro do canal: 20 mm (quadrado);
  - Diâmetro da membrana: 25 mm;
  - Comprimento: 1200 mm.
- Módulos / Tipo: 2 em série;
- Bombas (capacidade – caudal): 2,2 kW – 70 m<sup>3</sup>/h;
- Filtros: 1 filtro de banda pré-filtragem + 1 filtro magnético e filtro saco.
- Capacidade dos depósitos: 3 m<sup>3</sup>;
- Capacidade de separação: 800 L/h (capacidade de permeabilização).

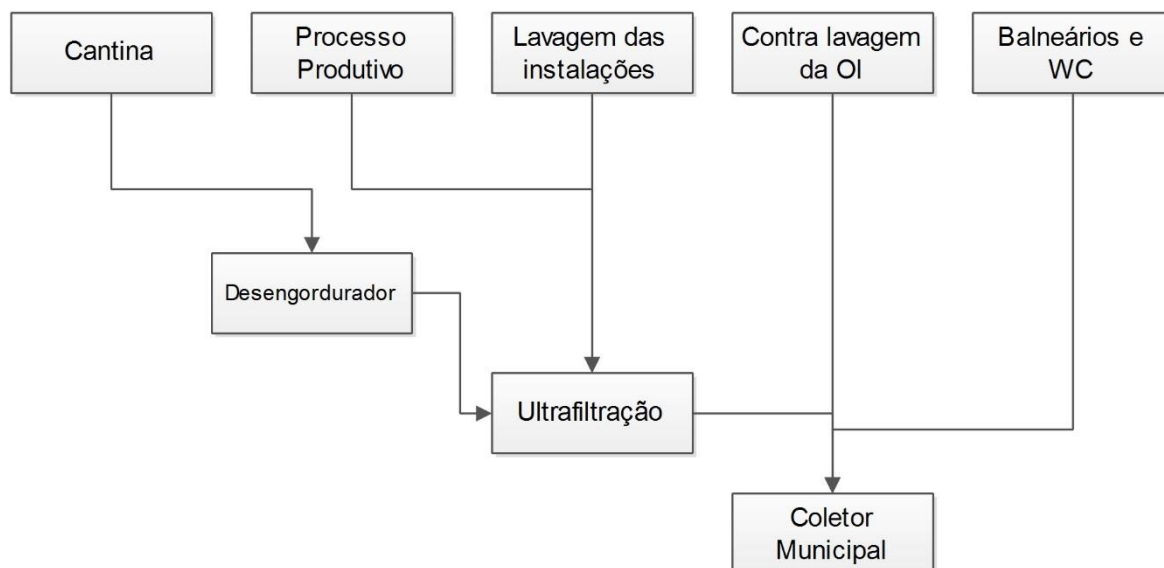
Na **Tabela 4.11** encontra-se resumida a origem e o tratamento sofrido pelas águas residuais.

**Tabela 4.11** - Origem e tratamento das águas residuais.

Origem	Designação	Tratamento
Cantina	Doméstico	Desengordurador + UF
Balneários e WC		-
Processo produtivo	Industrial	UF
Lavagem das instalações		
Contra lavagem da OI		-

Qualquer um dos fluxos de água residual tem um destino comum, o coletor municipal. A água residual doméstica e a água residual gerada pela lavagem das membranas da OI não sofrem qualquer controle laboratorial, no entanto, os fluxos de água que passam pela unidade de ultrafiltração são analisados no laboratório interno, para que apenas sejam descarregados no coletor municipal quando cumprirem os requisitos legais. Caso esta situação não se verifique, há uma recirculação da água residual, passando novamente pelo processo de ultrafiltração. Na **Figura 4.15** está esquematizado qual o tratamento sofrido pelos diferentes fluxos de água residual, bem como o seu destino final.





**Figura 4.15** – Esquema geral da origem e tratamentos aplicados à água residual.

As análises feitas à água residual depois de passar pela unidade de UF, encontram-se na **Tabela 4.12**. É importante referir que a indústria em estudo tem autorização dos serviços municipais para descarregar no coletor municipal água residual com valores superiores ao VLE para o caso do boro (B) e dos Cloretos (Cl<sup>-</sup>).

**Tabela 4.12** – Análises efetuadas à água residual, após tratamento na unidade de UF.

Parâmetros	VLE	Data de Amostragem			
		08-01-2014	10-10-2013	03-07-2013	10-04-2013
Temperatura	-	16	25	21	18
pH	-	7.4	8.6	7.5	8.1
CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	500	16	312	360	130
CQO (mg O <sub>2</sub> /L)	1000	< 20	870	740	330
SST (mg/L)	1000	27	52	320	212
Fenóis (mg C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH/L)	1	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Óleos e Gorduras (mg/L)	250	< 8	< 8	34	33
Azoto Amoniacal (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L)	100	< 4	41	67	8
Chumbo (mg Pb/L)	0.5	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0
Cobre (mg Cu/L)	1	< 0.3	< 0.3	2	< 0.3
Hidrocarbonetos Totais (mg/L)	50	< 8	< 8	15	25
Detergentes Aniónicos (mg/L)	50	1.2	0.89	9.9	10.6
Boro (mg B/L)	1	6.0	3.7	1.9	5.8
Cloretos (mg Cl <sup>-</sup> /L)	150	92	230	400	1000
Nitritos (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)	-	< 1	< 1	-	< 1
Zinco (mg Zn /L)	5	< 0.10	0.48	< 0.10	0.24

#### **4.4.5 Origem e destino dos resíduos sólidos industriais**

A produção de resíduos está na origem de grandes problemas ambientais, tais como a contaminação de solos, águas superficiais e subterrâneas, emissões de GEE, incêndios florestais, riscos para a saúde pública, etc. Para que se consiga uma preservação do meio ambiente, é necessário que, cada vez mais, as indústrias se foquem na minimização da produção de resíduos (BenchMark A+E, 2011). No caso em estudo podemos agrupar os resíduos gerados em três grupos:

- **Equiparáveis a resíduos domésticos:** provenientes das atividades administrativas, refeitórios, instalações sanitárias. Neste grupo incluem-se: papel e cartão, restos de alimentos, latas, garrafas de vidro, plásticos, etc.;
- **Industriais não perigosos:** encontram-se neste grupo os diversos tipos de aparas e limalhas (isentas de substâncias perigosas), peças defeituosas, restos de metais, etc.;
- **Industriais perigosos:** é neste grupo que se encontram os resíduos que criam maior preocupação às empresas. Estão incluídos:
  - **Fluidos de corte degradados e contaminados;**
  - **Emulsões e soluções degradadas contaminadas;**
  - **Outros fluidos e lamas**, tais como restos de líquidos oleosos, líquidos ou lamas com metais, águas oleosas de limpeza das instalações, máquinas e ferramentas;
  - **Aparas e outros elementos impregnados:** aparas e partículas metálicas impregnadas de fluido de corte, assim como roupa, panos, materiais absorventes e papel, empapados em produtos contaminantes;
  - **Outros resíduos:** recipientes vazios de fluido de corte e outros lubrificantes, filtros contaminados e resíduos da manutenção da maquinaria (espumas, aerossóis, solventes).

No caso da indústria em estudo, a gestão dos resíduos industriais está distribuída por diferentes entidades externas competentes. A recolha destes resíduos representa, em alguns casos, uma despesa para a empresa, sendo por isso importante encontrar uma alternativa.

Na **Tabela 4.13** estão descritos os resíduos sólidos industriais produzidos, com o respetivo código LER, quantidade anual, em toneladas, e a operação de gestão a que são sujeitos. Como seria de esperar, há uma grande disparidade entre as quantidades de resíduos gerados, sendo que muitas destas quantidades são insignificantes quando comparadas com a maior fonte de resíduos na unidade.

**Tabela 4.13** - Resíduos sólidos industriais gerados, anualmente, na unidade industrial.

<b>Cód. LER</b>	<b>Designação</b>	<b>Quantidade (t)</b>	<b>Perigosidade</b>	<b>Operação</b>
120101	Aparas e Limalhas de metais ferrosos.	307,13	Não perigoso	R4
120102	Poeiras e partículas de metais ferrosos.	236,25	Não perigoso	R13, R4
120109	Emulsões e soluções de maquinaria sem halogéneos.	95,00	Perigoso	R13
120118	Lamas metálicas (lamas de retificação, superacabamento e lixagem) contendo óleo.	262,32	Perigoso	D9
120121	Mós e materiais de retificação usados não abrangidos em 120120.	7,50	Não perigoso	D1
130110	Óleos hidráulicos minerais não clorados.	36,32	Perigoso	R9
150102	Embalagens de plástico.	0,53	Não perigoso	R5
150103	Embalagens de madeira.	114,18	Não perigoso	R3
150104	Embalagens de metal.	10,75	Não perigoso	R4
150105	Embalagens compósitas.	1,69	Não perigoso	R5
150202	Absorventes, materiais filtrantes (incluindo filtros de óleo não anteriormente especificados), panos de limpeza e vestuário de proteção, contaminados por substâncias perigosas.	35,94	Perigoso	D15
160214	Equipamento fora de uso não abrangido em 160209 a 160213.	0,44	Não perigoso	R13
170605	Materiais de construção contendo amianto.	0,26	Perigoso	D15
180101	Objetos cortantes e perfurantes (exceto 180103).	0,008802	Não perigoso	D15
190809	Misturas de gorduras e óleos, contendo apenas óleos e gorduras alimentares.	2,45	Não perigoso	R13
200101	Papel e Cartão.	130,76	Não perigoso	R13, R3
200139	Plástico.	1,15	Não perigoso	R13, R3
200140	Metais.	44,52	Não perigoso	R13, R4
200399	Resíduos Urbanos e equiparados não anteriormente especificados.	0,029988	Não perigoso	D15

Relativamente à operação de gestão a que cada tipo de resíduo está sujeito, a designação surge na **Tabela 4.14**. Estas operações estão harmonizadas no Anexo III da Lista Europeia de Resíduos (LER), publicada através da Portaria nº 209/2004, de 3 de março, alterada pelo Decreto-Lei nº 73/2011, de 17 de junho.

**Tabela 4.14** - Designação das operações de gestão de resíduos.

<b>Operação</b>	<b>Designação</b>
R 3	Valorização de substâncias orgânicas, não utilizadas como solventes.
R 4	Valorização de metais ou compostos metálicos.
R 5	Valorização de outros materiais inorgânicos.
R 9	Valorização de óleos usados.
R 13	Armazenagem de materiais com o fim de serem submetidos a uma das operações.
D 1	Deposição sobre o solo ou no seu interior (por exemplo, aterro sanitário, etc.).
D 9	Tratamento físico-químico não especificado em qualquer outra parte do presente.
D 15	Armazenagem enquanto se aguarda a execução de uma das operações enumeradas.

As entidades externas para onde são enviados os resíduos sólidos industriais, para uma correta gestão encontram-se na **Tabela 4.15**.

**Tabela 4.15 – Entidades responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos industriais.**

<b>Cód. LER</b>	<b>Designação</b>	<b>Entidade responsável</b>
120101	Aparas e Limalhas de metais ferrosos.	João Cordeiro Vieira & C <sup>a</sup> . Lda.
120102	Poeiras e partículas de metais ferrosos.	João Cordeiro Vieira & C <sup>a</sup> . Lda.
120109	Emulsões e soluções de maquinaria sem halogéneos.	SISAV – Sistema Integrado de Tratamento e Eliminação de Resíduos, S. A.
120118	Lamas metálicas (lamas de retificação, superacabamento e lixagem) contendo óleo.	SISAV – Sistema Integrado de Tratamento e Eliminação de Resíduos, S. A.
120121	Mós e materiais de retificação usados não abrangidos em 120120.	RESILEI – Tratamento de resíduos industriais, S.A.
130110	Óleos hidráulicos minerais não clorados.	SISAV – Sistema Integrado de Tratamento e Eliminação de Resíduos, S. A.
150102	Embalagens de plástico.	Sotembal, Sociedade Técnica de Embalagem, S.A.
150103	Embalagens de madeira.	Indústrias Jomar – Madeiras e Derivados, S.A.; LUSO FINSA – Indústria e comércio de madeiras, S.A.
150104	Embalagens de metal.	Sotembal, Sociedade Técnica de Embalagem, S.A.
150105	Embalagens compósitas.	Sotembal, Sociedade Técnica de Embalagem, S.A.
150202	Absorventes, materiais filtrantes (incluindo filtros de óleo não anteriormente especificados), panos de limpeza e vestuário de proteção, contaminados por substâncias perigosas.	SISAV – Sistema Integrado de Tratamento e Eliminação de Resíduos, S. A.
160214	Equipamento fora de uso não abrangido em 160209 a 160213.	Eco-Partner – Consultoria e Projetos Ambientais, S.A.
170605	Materiais de construção com/tendo amianto.	EGEO – Tecnologia e Ambiente, S.A.
180101	Objetos cortantes e perfurantes (exceto 180103).	Cannon Hygiene Portugal – Sociedade produtora de Serviços de Higiene e Limpeza, Lda.
190809	Misturas de gorduras e óleos, contendo apenas óleos e gorduras alimentares.	Desentupex Eco-Vidange – Saneamento e gestão de resíduos, Lda;
200101	Papel e Cartão.	João Cordeiro Vieira & C <sup>a</sup> . Lda.
200139	Plástico.	João Cordeiro Vieira & C <sup>a</sup> . Lda.
200140	Metais.	João Cordeiro Vieira & C <sup>a</sup> . Lda.
200399	Resíduos Urbanos e equiparados não anteriormente especificados.	Cannon Hygiene Portugal – Sociedade produtora de Serviços de Higiene e Limpeza, Lda.

## **4.5 Propostas de melhoria**

Para sugerir alterações ao processo industrial existente e/ou à gestão de recursos e águas residuais/resíduos gerados, é importante fazer uma análise técnica, económica e ambiental. Na avaliação técnica é importante considerar os seguintes aspetos:

- Impacto da medida proposta sobre o processo, produtividade, segurança, etc.;
- Testes de laboratório ou ensaios quando a opção provocar alterações significativas no processo existente;
- Experiências de outras empresas com a opção em estudo;
- Funcionários e departamentos afetados pela implementação das opções;
- Necessidades de mudança de pessoal, operações adicionais e pessoal de manutenção, além da formação adicional dos técnicos e de outras pessoas envolvidas.

Na avaliação ambiental é importante considerar:

- Quantidade de resíduos, efluentes e emissões que será reduzida;
- Qualidade dos resíduos, efluentes e emissões que tenham sido eliminados – verificar se estes contêm menos substâncias tóxicas e componentes reutilizáveis;
- Redução na utilização de recursos naturais.

Por fim, na avaliação económica é importante considerar:

- O investimento necessário;
- Os custos operacionais e receitas do processo existente e os custos operacionais e receitas projetadas das ações a serem implementadas;
- A poupança da empresa com a redução/eliminação de coimas.

De seguida elencam-se algumas sugestões de melhoria e faz-se uma análise sumária do efeito da sua implementação ao nível do desempenho ambiental da unidade. De modo a poder ser tomada uma decisão relativamente às opções elencadas, deverá ser construída uma matriz de avaliação na qual se atribuirá a cada opção uma pontuação, tendo em conta os critérios inumerados acima, devidamente ponderados em função da sua importância.

### **4.5.1 Melhorias ao nível do processo produtivo**

A nível do processo produtivo, a alteração que se sugere a curto prazo, passa pela carenagem das máquinas. Assim, no caso das máquinas que não têm carenagem, a colocação de cortinas, carenagens plásticas, carenagens metálicas ou telas rígidas, evitavam as projeções de fluidos de corte para a área envolvente à área de mecanização, permitindo uma poupança destes fluidos (BenchMark A+E, 2011).

Ainda sobre as alterações no processo produtivo, a médio/longo prazo, poderão introduzir-se novas tecnologias. Estas novas tecnologias, em alguns casos, permitirão a redução do consumo de fluidos de corte e noutros casos o fim da utilização destes fluidos do processo produtivo.

Para a redução do consumo de fluidos de corte, as sugestões passam pela **técnica de mínima lubrificação** e pelo **coldcut**.

Na técnica mínima de lubrificação, através da aplicação minuciosa por gotas ou aerossóis da mínima quantidade necessária de fluido de corte, é possível reduzir o consumo destes fluidos, garantindo as condições ideais de operação. A aplicação poderá ser efetuada de três formas (BenchMark A+E, 2011):

- **Sistemas de pulverização de baixa pressão:** o fluido de corte é introduzido numa corrente de ar a baixa pressão e transmite-se à superfície da peça em forma de mistura;
- **Sistemas de injeção sem ar:** o fluido de corte é aplicado sobre a superfície do metal através de bombas doseadoras que não necessitam de ar para impulsionar o fluido;
- **Sistemas de pulverização de alta pressão:** o fluido de corte desloca-se através de uma bomba até ao bico de pulverização, onde se mistura com o ar comprimido, que é fornecido em separado. Desta forma, as quantidades de ar e fluido de corte podem ser ajustadas de forma independente. A mistura coaxial no bico evita a possível formação de névoas.

O processo **coldcut** tem como objetivo a eliminação completa do fluido de corte do processo produtivo, no entanto, por enquanto apenas se conseguiu uma redução no uso de fluidos de corte a rondar os 98% e a eliminação dos que são realmente tóxicos. O modo de funcionamento neste processo passa pela substituição dos fluidos de corte por ar frio e pequenas quantidades de lubrificantes de base vegetal/sintética não perigosos e com tendência biodegradável (BenchMark A+E, 2011). Assim, a refrigeração da zona de maquinagem era assegurada pelo ar frio e a lubrificação pelo lubrificante aplicado.

Caso se queira acabar com o uso dos fluidos de corte, as propostas são a utilização de **ar comprimido frio** e/ou **ar comprimido frio (-30 °C) + óleo vegetal (azeite)**.

Segundo Nguyen, T. e Zhang, L. C. (2003), a utilização de ar comprimido frio em operações onde há uma baixa taxa de remoção de material é eficaz, com a vantagem de haver uma redução da força exercida pela máquina durante a retificação. Segundo esses mesmos autores, a mistura de ar frio com o óleo vegetal, é também plausível para casos de um polimento fino ou corte pouco profundo, sendo necessário assegurar que a zona de contato entre a peça e a máquina estará sempre abaixo dos 150 °C, para que a lubrificação seja eficaz.

Relativamente aos benefícios ambientais, as técnicas/tecnologias acima descritas permitem a redução/eliminação da utilização dos fluidos de corte, redução da contaminação do piso industrial, redução da necessidade de limpeza das peças no fim dos processos de maquinagem e a melhoria da qualidade dos resíduos metálicos (aparas e limalhas) (BenchMark A+E, 2011).

No que diz respeito aos fluidos de corte, devido ao *stress* mecânico vão sendo degradados, dando origem a óleos de corte degradados e emulsões/soluções degradadas.

No caso dos óleos de corte degradados, devido às altas temperaturas, nas operações de maquinagem, a que são submetidos, estes óleos sofrem reações de oxidação e polimerização, formando uma mistura complexa de compostos orgânicos e outros elementos contaminantes resultantes do desgaste dos metais. Um óleo de corte degradado apresenta, em média, 65% de fluido base (mineral, sintético ou vegetal) e aditivos, sendo os restantes 35% uma mistura de água, restos de aditivos como fenóis, compostos de zinco, cloro, fósforo e ácidos orgânicos ou inorgânicos (BenchMark A+E, 2011).

No que diz respeito às emulsões/soluções degradadas: para além da fadiga térmica e das reações químicas, são os microrganismos que desempenham um importante papel na degradação destes fluidos, uma vez que metabolizam os seus componentes, modificando a sua estrutura química.

A implementação de boas práticas de gestão de fluidos de corte são caracterizadas por serem de aplicação simples e de baixo custo, uma vez que apenas exigem um envolvimento e mudança de atitude de todos os operadores.

Estas boas práticas consistem em mudanças operacionais, controlo e organização dos processos e atividades industriais, assim como na atuação do pessoal laboral da empresa, tendo como o grande objetivo a diminuição da produção de resíduos.

Relativamente à **escolha dos fluidos de corte**, tendo em conta a viabilidade económica das tecnologias aplicáveis para a sua regeneração e reutilização, é extremamente importante que se consiga uma homogeneização dos fluidos de corte utilizados na unidade industrial, promovendo a utilização do menor número de compostos diferentes.

Através desta homogeneização dos fluidos de corte seria possível construir um **sistema centralizado de recolha e manutenção de fluidos de corte**, o que permitiria que todo, ou pelo menos grande parte, do fluido de corte utilizado na indústria em estudo fosse tratado ao mesmo tempo. Nesta unidade de manutenção dos fluidos de corte, o objetivo é limitar a presença de elementos que representam um risco relevante para a estabilidade e durabilidade do fluido de corte. Estes elementos podem ser sólidos, por exemplo, limalhas, aparas, pó e partículas do ambiente, mas também líquidos, tais como óleos hidráulicos, óleos de guias e óleos de lubrificação (BenchMark A+E, 2011).

Tendo em conta a tecnologia para a separação de resíduos sólidos dos fluidos de corte existentes na unidade industrial em estudo (depósito de decantação, hidrociclones e filtros de areia), a proposta passa pela instalação de separadores de óleos (BenchMark A+E, 2011). Para esta finalidade existem:

- *Skimmers/raspadores de superfície* – um elemento mecânico efetua um varrimento superficial do fluido de corte retirando o óleo acumulado na superfície;
- *Separador coalescente* – instalado em *bypass* ou em linha, separa em contínuo o óleo não emulsionado;
- *Separador centrífugo de duas fases* – através da aplicação de aceleração centrífuga, força-se a separação do óleo.



#### **4.5.2 Melhorias ao nível da gestão de água/água residual**

Como vimos, apesar de a água entrar no processo produtivo para o processo de tratamento térmico e no circuito de refrigeração, o grande consumidor de água na indústria em estudo é a incorporação desta nos fluidos de corte. Assim sendo, o consumo de água é diretamente proporcional ao consumo de fluidos de corte solúveis.

Estando a unidade industrial situada numa zona geográfica onde mesmo nos meses de verão há ocorrência de precipitação (**Tabela 4.16**), a água pluvial surge como um forte foco de atuação, visando o seu aproveitamento. Assim sendo, a proposta, é a instalação de um tanque, cuja capacidade terá de ser escolhida posteriormente, de armazenamento superficial para o reaproveitamento de água pluvial. A opção por este tipo de tanque prende-se com o fato de as fugas serem facilmente identificadas, e a pressão da água poder ser aumentada consoante a altura desse tanque permitindo que se retire água por ação da gravidade ou através de uma torneira. (Oliveira, F., 2008). Esta água seria utilizada onde não fosse necessária água de elevada qualidade, como por exemplo na rega paisagística e nas descargas de WC.

**Tabela 4.16 – Precipitação média mensal entre 2005 e 2008 (SNIRH).**

	Precipitação média mensal (mm)			
	2005	2006	2007	2008
<b>Janeiro</b>	2,8	68,5	37	123,4
<b>Fevereiro</b>	27,5	59,7	109,5	71,9
<b>Março</b>	42,6	102	28,9	52,9
<b>Abril</b>	21,9	51,6	43,3	144,1
<b>Mai</b>	16,8	2,3	47,55	96
<b>Junho</b>	0,89	32,4	39,4	5,2
<b>Julho</b>	13,1	3,8	14,2	6,4
<b>Agosto</b>	4,8	21,1	12,3	19,4
<b>Setembro</b>	11,9	61,7	20	21,3
<b>Outubro</b>	91,9	224,8	17,8	79,9
<b>Novembro</b>	126,65	238,5	38,15	100,8
<b>Dezembro</b>	49,8	71,7	21,7	76,2

No que diz respeito às águas residuais, a proposta de longo prazo, passa pela **construção de uma ETARI** na unidade industrial, assegurando a reutilização da água residual no processo produtivo. No entanto será imprescindível um estudo económico para perceber qual a viabilidade para a implementação desta unidade, tendo em consideração as taxas atualmente pagas para descarga em coletor municipal e o benefício de poder reutilizar a água residual tratada em usos não potáveis.

#### **4.5.3 Melhorias ao nível da gestão de resíduos**

Como vimos no Capítulo 4.4.2, ao longo do processo produtivo são geradas lamas, resultantes da mistura de resíduos metálicos e fluidos de corte. De modo a maximizar o aproveitamento de fluidos de corte pela unidade industrial, seria útil a aquisição de uma prensa de lamas, maximizando, assim, a extração de fluido de corte dessas lamas.

Relativamente ao resíduo cujo código LER é o 120118 “Lamas metálicas (lamas de retificação, superacabamento e lixagem) contendo óleo”, cuja gestão representa uma despesa para a indústria, a proposta é a elaboração de um estudo sobre este resíduo. Começando pela caracterização das lamas, dependendo das conclusões que se tirem estas lamas poderão ter diversos destinos:

Gupta, S. K. e Surwade, M. T. (2007) avaliaram a capacidade de imobilização de metais pesados através da incorporação de lamas, provenientes da indústria de produção de peças em aço, em cimento, chegando a resultados interessantes no que diz respeito ao ambiente. Analisando as lamas em questão, estas podem apresentar características semelhantes, sendo que esta hipótese de incorporação em cimento e/ou alcatrão pode ser uma solução.

Como não é feita uma caracterização destas lamas, pode dar-se o caso de estas não terem metais perigosos na sua constituição. No entanto, terão com certeza Fe na sua constituição, e segundo Mauthoor, S., *et al* (2014), podem ser utilizadas como um fertilizante em solos calcários com défice de Fe.

Um outro resíduo que tem criado dificuldades de gestão à unidade industrial, é o resíduo com o código LER 150202, “Absorventes, materiais filtrantes (incluindo filtros de óleo não anteriormente especificados), panos de limpeza e vestuário de proteção, contaminados por substâncias perigosas). Neste caso, o problema surge da falta de sensibilização dos operadores, uma vez que a decisão de colocar os resíduos neste caixote próprio é inteiramente deles. O que acontece é que muitas vezes aparecem resíduos que não justificavam serem tratados como resíduos perigosos, e assim a quantidade a ser recolhida e tratada como resíduo perigoso sobe bastante. A proposta passa por criar uma escala semanal, em que durante cada semana haja uma pessoa, por turno, responsável pelo controlo deste tipo de resíduos. Uma vez que todos os operadores passariam por esse cargo, todos teriam de estar bem informados sobre o que realmente deveria ir ou não para esse caixote de resíduos perigosos, aumentando assim a eficiência desta separação.

## **5. Conclusões**

A análise sistemática realizada à unidade industrial em estudo, permitiu concluir que quer ao nível do uso eficiente da água quer da ao nível da gestão de resíduos industriais, a empresa tem uma visão aberta e preocupada com as questões relacionadas com o ambiente, procurando a melhoria contínua do seu desempenho ambiental.

Como exemplo das preocupações ambientais pode mencionar-se a existência de uma rede de água única para as descargas dos WC's, que é abastecida pela água do furo existente nas instalações, uma vez que requer água de qualidade inferior, a existência de equipamentos que permitem a reutilização dos fluidos de corte, e claro, toda a forma de como é feita a gestão de resíduos industriais sólidos, enviando-os para as entidades competentes de cada tipo de resíduo.

Os objetivos traçados inicialmente passavam pela redução do ICA, isto relativamente ao uso eficiente de água, e pela proposta de um novo destino para as “lamas metálicas (lamas de retificação, superacabamento e lixagem) contendo óleo”, cuja gestão existente acarreta custos para a empresa.

Nesse sentido, para a redução do ICA foram propostas melhorias ao nível do processo produtivo, nomeadamente a introdução de novas tecnologias, cujo efeito seria a diminuição ou eliminação do consumo de fluidos de corte, e consequentemente a redução da água incorporada nos fluidos de corte aquosos.

Em termos da gestão das águas residuais, poderia avaliar-se futuramente se a construção de uma ETAR seria viável em termos económicos, tendo em consideração as taxas atualmente pagas para descarga em coletor municipal e o benefício de poder reutilizar a água residual tratada em usos não potáveis.

No que se refere às “lamas metálicas (lamas de retificação, superacabamento e lixagem) contendo óleo”, sugere-se que a médio prazo se analise as lamas no sentido de as caracterizar, e assim, poder decidir qual das duas opções é a mais viável: incorporação em cimento/alcatrão.

## **Bibliografia**

- AEP, Associação Empresarial de Portugal – *Manual de Gestão de Resíduos Industriais* (2011), Resíduos Menos, pp 13-36.
- AEP, Associação Empresarial de Portugal – *Manual de Produção + Limpa da Indústria Metalomecânica* (2011), BenchMark A+E, 148 pp.
- Agrawal, A., Sahu, K., Pandey, B. – *Solid waste management in non-ferrous industries in India*. Resour. Conserv. Recycl., vol. 42, no. 2 (2004), pp. 99–120.
- Alkaya, E., Demirer, G. N. – *Greening of production in metal processing industry through process modifications and improved management practices*. Resour. Conserv. Recycl., vol. 77 (2013), pp. 89–96.
- Baral, A., Engelken, R. D. – *Chromium-based regulations and greening in metal finishing industries in the USA*. Environ. Sci. Policy, vol. 5, no. 2 (2002), pp. 121–133.
- Chan, B. K. C., Bouzalakos, S., Dudeney, A. W. L. – *Integrated waste and water management in mining and metallurgical industries*. Trans. Nonferrous Met. Soc. China, vol. 18, no. 6 (2008), pp. 1497–1505.
- Foster, S., Chilton, P. – *Groundwater: the processes and global significance of aquifer degradation*. Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci., vol. 358, no. 1440 (2003), pp. 1957–72.
- Garcia, E., Pombo, I., Sanchez, J. A., Ortega, N., Izquierdo, B., Plaza, S., Marquinez, J. I., Heinzl, C., Mourek, D. – *Reduction of oil and gas consumption in grinding technology using high pour-point lubricants*. J. Clean. Prod., vol. 51 (2013), pp. 99–108.
- Gumbo, B., Mlilo, S., Broome, J., Lumbroso, D. – *Industrial water demand management and cleaner production potential: a case of three industries in Bulawayo, Zimbabwe*. Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C, vol. 28, no. 20–27 (2003), pp. 797–804.
- Gupta, S., Surwade, M. – *Immobilization of heavy metals from steel plating industry sludge using cement as binder at different pH*. Proceedings Moving Forward – wastewater biosolids sustainability: Technical, managerial and public synergy, June 24-27, 2007, Moncton, Canada, pp. 773–777.
- Hoveidi, H., Pari, M. A., Pazoki, M., Koulaeian, T., Faculty, G., Box, P.O. – *Industrial Waste Management with Application of RIAM Environmental Assessment: A Case Study on Toos Industrial State, Mashhad*. Iranica Journal of Energy & Environment, vol. 4, no. 2 (2013), pp. 42–49.
- INETI – *Estudo de Caso para o Sector da Metalurgia e Metalomecânica*. EROFRIO – Engenharia e Fabricação de Moldes, S. A. (2007).
- INETI – *Guia Técnico, Sector da Metalurgia e Metalomecânica*. (2000).

Kumar, S., Kumar, R., Bandopadhyay, A. – *Innovative methodologies for the utilisation of wastes from metallurgical and allied industries*. Resour. Conserv. Recycl., vol. 48, no. 4 (2006), pp. 301–314.

Koefoed, M., Buckley, C. - *Clean technology transfer: a case study from the South African metal finishing industry, 2000–2005*. J. Clean. Prod., vol. 16, no. 1 (2008), pp. S78–S84.

Lee, J. C., Pandey, B. D. – *Bio-processing of solid wastes and secondary resources for metal extraction - A review*. Waste Manag., vol. 32, no. 1 (2012), pp. 3–18.

Levy, N. – *Sludge treatment in the metal-finishing industry*. Met. Finish., vol. 98, no. 2 (2000), pp. 80–83.

Mauthoor, S., et al. – *An assessment on the recycling opportunities of wastes emanating from scrap metal processing in Mauritius*. Waste Management. (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.12.014>.

NetResíduos, Portal Português da Gestão de Resíduos. Disponível em: <http://www.netresiduos.com/fluxosler.aspx?menuid=102>, acedido a: 01/05/2014.

Nguyen, T., Zhang, L. – *An assessment of the applicability of cold air and oil mist in surface grinding*. J. Mater. Process. Technol., vol. 140, no. 1–3 (2003), pp. 224–230.

Oliveira, F. – *Aproveitamento de água pluvial em usos urbanos em Portugal Continental – Simulador para avaliação da viabilidade*. Instituto Superior Técnico (2008).

Pant, D., Joshi, D., Upreti, M. K., Kotnala, R. K. – *Chemical and biological extraction of metals present in E waste: A hybrid technology*. Waste Manag., vol. 32, no. 5 (2012), pp. 979–990.

Reeve, D. J. – *Environmental improvements in the metal finishing industry in Australasia*. J. Clean. Prod., vol. 15, no. 8–9 (2007), pp. 756–763.

Santos, M., Ramos, D., Almeida, Rebelo, L. M., Pereira, M., Barros, S., Vale, P. – *Sistemas integrados de gestão – qualidade, ambiente e segurança* (2013).

SCHAEFFLER GRUPPE – *Report Environmental Protection and Safety 2011*. Schaeffler Portugal, S. A. – Caldas da Rainha (2012).

Sinha, S., Sinha, V., Tiwari, S. – *A study on the waste water treatment technology for steel industry: recycle and reuse*. American Journal of Engineering Research (2014), Vol.3, Issue 4, pp. 309–315.

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Disponível em <http://snirh.apambiente.pt/>, acedido a: 14/10/2014.

The United Nations World Water Development Report (WWDR) – *Water for People, Water for Life*. World Water Assessment Programme (2003).

USGS, Science for a changing world – *How much water is there on, in and above the Earth?*. Disponível em: <http://water.usgs.gov/edu/earthhowmuch.html>, acessado a: 03/04/2014.

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) – *Facts and trends – water* (2006).

Y, Ong, C. Chui – *Solidification of industrial waste sludge with incineration fly ash and ordinary Portland cement*. Proceedings 9<sup>th</sup> National Undergraduated Research Opportunities Programme Congress, 13 September 2003, Nanyang Technological University.